



**Quantificação do valor ambiental em edifícios.
Estudo de um caso prático.**

ANA MARGARIDA SOUSA FRADE PIRES
(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientadores:

Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques, (ISEL)
Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, (ISEL)

Júri:

Presidente: Mestre Manuel Brasão de Castro Farinha, (ISEL)
Vogais: Licenciada Maria Alexandra Cardoso Costa, (ISEL)
Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques, (ISEL)
Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, (ISEL)

AGRADECIMENTOS

A elaboração desta dissertação foi um dos atos de que mais me orgulho, mas nada seria conseguido sem a contribuição de diversas pessoas, que foram fulcrais para a conclusão deste trabalho. Assim, os meus mais sinceros agradecimentos vão para:

O Doutor Filipe Vasques, orientador, e para a Doutora Maria Dulce Henriques, co-orientadora, pela orientação, disponibilidade, dedicação e ensinamentos ao longo deste trabalho.

O Sr. Fernando Fernandes, da empresa C. Civil, que forneceu a informação necessária ao desenvolvimento do caso de estudo e por toda a disponibilidade e dedicação manifestada quando lhe foi solicitada ajuda.

As pessoas que me transmitiram os valores necessários para desenvolver este trabalho, como, determinação, trabalho, dedicação e persistência no que realmente se ambiciona, são eles os meus pais. Muito obrigada!

A minha irmã e o meu cunhado, pelo exemplo, força, companheirismo e amizade, que têm sido essenciais ao longo de todo o meu percurso pessoal e profissional.

A minha sobrinha Francisca e a minha prima Tânia que me transmitem força, motivação e esperança.

Os meus colegas e amigos do ISEL, pela amizade, apoio e companheirismo ao longo desta caminhada.

Uma amiga muito especial que me tem transmitido muita força. Obrigada pela tua amizade, Sónia.

E por último, mas não menos importante, ao meu namorado, pelo apoio incondicional, companheirismo, compreensão, paciência, amizade e motivação. Obrigada por sempre acreditares em mim.

RESUMO

A dissertação aborda a temática dos impactes ambientais provocados pela utilização de materiais na Indústria da Construção, pois estes produzem alterações ambientais significativas, associadas em grande parte às atividades humanas e construtivas.

Nesta perspetiva, este trabalho aborda dois dos parâmetros que mais influenciam os impactes ambientais: a energia incorporada nos materiais de construção, no que concerne ao consumo de recursos energéticos, e as emissões de dióxido de carbono (CO₂).

O objetivo do presente trabalho consiste na quantificação das necessidades energéticas e emissões de CO₂, de um projeto de nova construção com manutenção de fachadas, de um edifício pombalino.

Do ponto de vista económico, pretende-se traduzir os consumos energéticos em custos (custos ambientais) e incluir esta parcela nos custos de construção, permitindo analisar as implicações que estes consumos poderiam ter nos custos da execução de uma obra.

O estudo pretende, ainda, caracterizar e estudar duas variantes no projeto e verificar a sensibilidade do mesmo no que respeita à energia incorporada, emissões de CO₂, custo ambiental e custo de construção. Deste modo, pretende-se avaliar o potencial de poupança energético, ambiental e económico, com as variantes propostas, que se podem, ou não, traduzir em soluções vantajosas neste tipo de projetos.

Palavras-Chave: impactes ambientais, energia incorporada nos materiais de construção, emissões de CO₂

ABSTRACT

The dissertation approaches the issue of environmental impacts caused by the use of materials in the construction industry, as these produce significant environmental alterations associated largely to human and constructive activities.

In this perspective, this work approaches two of the parameters that influence the environmental impacts, the embodied energy in building materials, with respect to the consumption of energy resources and carbon dioxide emissions (CO₂).

The purpose of this study is to quantify the energy requirements and CO₂ emissions, of a project of a new building with maintenance of building facades.

From an economic standpoint, intended is the to convert the energy consumption in costs (environmental costs) and include this portion on the construction of costs, allowing to analyze the implications that these consumption could have on construction costs of a building.

The study also seeks to characterize and study two variants in the design and verify its sensitivity regarding to embodied energy, CO₂ emissions, environmental cost and construction cost. Thus, we intend to evaluate the saving potential for energy, environmental and economic, with the variants proposed, which may, or may not, translate into viable solutions in this type of projects.

Keywords: environmental impact, embodied energy in building materials, CO₂ emissions

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Metodologia e Estrutura.....	2
CAPÍTULO 2 - ESTADO DE ARTE	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Desenvolvimento Sustentável.....	5
2.3. Construção Sustentável.....	7
2.4. Avaliação do Ciclo de Vida dos Materiais de Construção.....	11
2.5. Custo Ambiental.....	13
2.6. Energia incorporada nos materiais de construção.....	14
2.7. Estudos realizados sobre energia incorporada nos materiais de construção e emissões de dióxido de carbono.....	17
2.7.1 Energia incorporada nos materiais de construção.....	17
2.7.2 Emissões de dióxido de carbono.....	19
2.8. Demolição integral <i>versus</i> manutenção da fachada.....	20
2.9. Recuperação de materiais.....	21
CAPÍTULO 3 - IMPACTES AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	23
3.1. Tipologias de Impactes da Construção.....	23
3.1.1 Pressão sobre os recursos.....	25
3.1.2 Emissões e cargas ambientais.....	25
3.1.3 Alterações aos sistemas ambientais de base natural.....	26
3.1.4 Alterações aos sistemas ambientais de base construída.....	26
3.2. Impactes ambientais dos edifícios.....	27
3.2.1 Planeamento.....	27
3.2.2 Construção.....	28
3.2.3 Operação.....	28
3.2.4 Manutenção.....	29
3.2.5 Demolição e remoção.....	29
3.3. Indicadores Ambientais dos materiais.....	29
3.3.1 Energia incorporada nos materiais de construção.....	29
3.3.1.1 Energia de extração de matérias-primas.....	30
3.3.1.2 Energia de transformação e produção.....	31
3.3.1.3 Energia de demolição.....	31
3.3.1.4 Energia de transporte de materiais.....	31
3.3.1.5 Energia de construção.....	32

3.3.1.6	Quantificação da energia incorporada nos materiais de construção	32
3.3.1.6.1	Fase de produção de materiais	33
3.3.1.6.2	Fase de demolição	34
3.3.1.6.3	Fase de transporte de materiais	35
3.3.1.6.4	Fase de construção	36
3.3.1.6.5	Energia incorporada total	36
3.3.2	Impacte Ecológico Incorporado	37
3.3.3	Potencial de Reutilização e Reciclagem	38
3.3.4	Toxicidade do material	39
CAPÍTULO 4	- CASO DE ESTUDO	41
4.1	Objetivo	41
4.2	Metodologia	41
4.3	Descrição do projeto	42
4.4	Descrição da construção	44
4.4.1	Fundações	44
4.4.2	Estrutura	44
4.4.3	Acabamentos	44
4.4.4	Materiais usados na construção	45
4.5	Cálculo da energia incorporada total da construção do edifício	46
4.5.1	Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais	47
4.5.2	Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício	48
4.5.3	Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais	48
4.5.4	Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício	49
4.5.5	Energia incorporada total da obra	50
4.6	Emissões de CO ₂	51
4.7	Análise de sensibilidade	52
4.7.1	Variante 1 - Demolição total do edifício	52
4.7.1.1	Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais	53
4.7.1.2	Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício existente	54
4.7.1.3	Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais	54
4.7.1.4	Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício	55
4.7.1.5	Energia incorporada total da variante 1	55

4.7.1.6 Emissões de CO ₂ totais da variante 1.....	56
4.7.2 Variante 2 – Utilização de materiais reutilizados.....	56
4.7.2.1 Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais	57
4.7.2.2 Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício existente	58
4.7.2.3 Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais.....	58
4.7.2.4 Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício.....	59
4.7.2.5 Energia incorporada total da variante 2.....	59
4.7.2.6 Emissões de CO ₂ totais da variante 2.....	59
4.8 Custos associados à obra de construção.....	60
4.8.1 Custo ambiental da situação real.....	60
4.8.2 Custo ambiental da variante 1.....	61
4.8.3 Custo ambiental da variante 2.....	61
4.8.4 Custo de construção.....	61
4.9 Verificação das alterações orçamentais.....	62
4.9.1 Alteração no orçamento – Variante 1.....	64
4.9.2 Alteração no orçamento – Variante 2.....	65
4.9.2.1 Reutilizar 60% de azulejos	65
4.9.2.2 Reutilizar 50% de madeira	66
4.9.3 Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação (ECACCR).....	68
4.9.3.1 Variante 1.....	68
4.9.3.2 Variante 2.....	69
4.9.4 Resumo das alterações Orçamentais.....	69
CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	71
5.1 Apresentação e análise de resultados.....	71
5.1.1 Análise energética.....	71
5.1.2 Análise ambiental.....	74
5.1.3 Análise económica.....	76
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	79
6.1 Conclusões.....	79
6.2 Recomendações para trabalhos futuros.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS.....	i

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Figura 1.1 - Organigrama dos capítulos e dos principais temas a abordar na dissertação.....3

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

Figura 2.1 - Pilares de desenvolvimento sustentável..... 6

Figura 2.2 - Fatores de competitividade na construção tradicional..... 8

Figura 2.3 - Evolução das preocupações na construção 9

Figura 2.4 - Fases do ciclo de vida..... 11

Figura 2.5 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida 12

Figura 2.6 - Ciclo de vida dos materiais de construção e consumos energéticos associados .. 15

Figura 2.7 - Energia incorporada nos materiais responsáveis pela parcela mais significativa do consumo 18

Figura 2.8 - Emissões de GEE em cada fase do ciclo de vida de um edifício..... 20

CAPÍTULO 3 – IMPACTES AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Figura 3.1 - Impactes do ciclo de vida das construções 24

Figura 3.2 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção 25

Figura 3.3 - Fases consideradas numa nova construção com manutenção de fachada..... 30

Figura 3.4 - Energia incorporada total numa nova construção com manutenção de fachada .. 37

CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

Figura 4.1 - Fluxograma das fases a considerar no estudo..... 41

Figura 4.2 - Heritage Av. Liberdade Hotel 43

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Figura 5.1 - Contributo das diferentes fases para a energia incorporada..... 72

Figura 5.2 - Contributo dos diferentes materiais na fase de produção de materiais 72

Figura 5.3 - Energia incorporada das situações estudadas 72

Figura 5.4 - Contributo dos diferentes materiais nas emissões de CO₂ 75

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

Quadro 2.1 - Princípios da Construção Sustentável	8
---	---

CAPÍTULO 3 – IMPACTES AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Quadro 3.1 - Energia necessária ao fabrico de alguns materiais de construção	34
Quadro 3.2 - Componente energética dos diferentes processos tipicamente utilizados na demolição de edifícios	35
Quadro 3.3 - Energia consumida em transporte	35
Quadro 3.4 - Componente energética dos diferentes processos tipicamente utilizados na construção de edifícios.....	36
Quadro 3.5 - Teor de emissão de CO ₂ em alguns materiais de construção.....	38
Quadro 3.6 - Características e Potencial de Reutilização e Reciclagem (PRR) de alguns materiais de construção	39

CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

Quadro 4.1 - Sequência de etapas a desenvolver no caso de estudo	42
Quadro 4.2 - Área bruta por piso.....	43
Quadro 4.3 - Volumes e áreas a considerar no projeto	44
Quadro 4.4 - Quantidades de materiais de construção	45
Quadro 4.5 - Quantidades de materiais e respetivos pesos	46
Quadro 4.6 - Necessidades energéticas para produção de materiais	47
Quadro 4.7 - Necessidades energéticas para demolição de edifício	48
Quadro 4.8 - Necessidades energéticas para transporte de materiais.....	49
Quadro 4.9 - Necessidades energéticas para construção do edifício.....	50
Quadro 4.10 - Energia incorporada total da obra.....	50
Quadro 4.11 - Emissões de CO ₂ totais da obra	51
Quadro 4.12 - Quantidade de tijolos e isolamento térmico e respetivas massas – Variante 1 .	53
Quadro 4.13 - Necessidades energéticas para produção de materiais	53
Quadro 4.14 - Necessidades energéticas para demolição de edifício.....	54
Quadro 4.15 - Necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais.....	54
Quadro 4.16 - Necessidades energéticas para construção do edifício.....	55
Quadro 4.17 - Energia incorporada total da variante 1	55
Quadro 4.18 - Emissões totais de CO ₂ na variante 1	56
Quadro 4.19 - Quantidades de madeira e azulejos e respetivas massas - Variante 2	57
Quadro 4.20 - Necessidades energéticas para produção de materiais	57
Quadro 4.21 - Necessidades energéticas para transporte de materiais.....	58
Quadro 4.22 - Energia incorporada total da variante 2	55
Quadro 4.23 - Emissões totais de CO ₂ na variante 2	60

Quadro 4.24 - Custo ambiental da situação real.....	61
Quadro 4.25 - Custo ambiental da variante 1	61
Quadro 4.26 - Custo ambiental da variante 2	61
Quadro 4.27 - Ficha Tipo ECAACR.....	62
Quadro 4.28 - Apresentação Geral das Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação	63
Quadro 4.29 - Ficha ECAACR - Variante 1	64
Quadro 4.30 - Ficha rendimento LNEC – Situação Real – Azulejos.....	65
Quadro 4.31 - Ficha ECAACR - Variante 2 – Azulejos	66
Quadro 4.32 - Ficha LNEC – Situação Real – Madeira	67
Quadro 4.33 - Ficha ECAACR - Variante 2 – Madeira.....	67
Quadro 4.34 - ECAACR - Variante 1.....	64
Quadro 4.35 - ECAACR - Variante 2 – Azulejos	69
Quadro 4.36 - ECAACR - Variante 2 – Madeira.....	69
Quadro 4.37 - Resumo das Alterações Orçamentais.....	70

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Quadro 5.1 - Síntese dos resultados de energia incorporada e emissões de CO ₂	71
Quadro 5.2 - Síntese dos resultados de custo ambiental e custo de construção	71
Quadro 5.3 – Comparação da energia incorporada da aplicação de dois métodos.....	71
Quadro 5.4 - Comparação das emissões de CO ₂ - Situação real <i>versus</i> Variantes	75
Quadro 5.5 - Comparação do custo ambiental - Situação real <i>versus</i> Variantes	76
Quadro 5.6 - Comparação do custo de construção - Situação real <i>versus</i> Variantes	76
Quadro 5.7 - Comparação do custo total de construção - Situação real <i>versus</i> Variantes	77

LISTA DE SIGLAS

ACV – Avaliação Ciclo de Vida
AIA – Avaliação de Impactes Ambientais
APA - Agência Portuguesa do Ambiente
BEES - Building for Environmental and Economic Sustainability
CO₂ - Dióxido de Carbono
ECAACR - Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação
ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais
GEE - Gases de Efeito de Estufa
GJ – Gigajoules
INE - Instituto Nacional de Estatística
IVA – Imposto de Valor Acrescentado
kg - Quilogramas
km – Quilómetros
kWh - Quilowatt – hora
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MT - Milhões de Toneladas
PAG - Potencial de Aquecimento Global
PEC (na sigla inglesa) - Energia Primária Incorporada
PIB - Produto Interno Bruto
PRR - Potencial de Reutilização e Reciclagem
RCD - Resíduos de Construção e Demolição
SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry
Ton - Toneladas

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

Ao longo dos anos, o crescente desenvolvimento tecnológico em práticas construtivas associado à procura de melhores condições de conforto nos ambientes construídos, contribuíram para a ocorrência de impactes ambientais significativos, e devido ao facto de atualmente a construção ser uma atividade de extrema importância a nível económico, social e ambiental, as preocupações ambientais têm ganho cada vez mais preponderância.

Na segunda metade do Século XX, o Homem começou a ter consciência da progressiva degradação do meio ambiente, e aí surgiu a temática de desenvolvimento sustentável, em que as preocupações ambientais se baseavam na proteção do meio ambiente, na manutenção ou melhoria da salubridade e integridade do ambiente a longo prazo das gerações futuras (Mateus, 2009).

A indústria da construção em geral e o setor dos edifícios em particular, contribuem expressivamente para a degradação ambiental. Os edifícios, durante o seu ciclo de vida, que se desenvolve desde a fase de construção até à fase de demolição, passando pelas fases de utilização, manutenção e reabilitação, provocam inúmeros impactes ambientais que importa conhecer, com vista a potenciar o desenvolvimento de novas tecnologias, e por sua vez, promover a sustentabilidade da construção (Mateus, 2006).

O tipo de materiais, respetivas quantidades e a energia incorporada num edifício, são fatores que influenciam esses impactes, e portanto, para avaliar estes fatores torna-se importante realizar uma análise às várias fases do ciclo de vida dos materiais (Mateus & Mota, 2011).

Esta análise contribui para conhecer os consumos energéticos e respetivas emissões de CO₂, dado que, os impactes mais relevantes no setor da construção estão relacionados direta ou indiretamente com a energia (Augusto, 2011).

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal interesse, abordar e quantificar dois dos aspetos considerados nos impactes ambientais que podem ser produzidos por determinada escolha de materiais utilizados na construção de um edifício:

- Energia incorporada nos materiais de construção;
- Emissões de CO₂ dos materiais de construção.

Para contextualizar estes dois indicadores de impactes ambientais na indústria da construção, abordar-se-á conceitos e temáticas essenciais, tais como:

- Construção sustentável;
- Avaliação do ciclo de vida dos edifícios;
- Custos ambientais;
- Energia incorporada nos materiais de construção;
- Impactes ambientais na indústria da construção.

Como forma de aplicação destes conhecimentos, será caracterizada e estudada uma nova construção com manutenção da fachada de um edifício antigo da zona central de Lisboa. Este estudo consiste na determinação dos seus impactes ambientais, através do cálculo de dois dos indicadores destes impactes, como referido: energia incorporada nos materiais de construção e emissões de dióxido de carbono.

Após o cálculo destes parâmetros, será estudado o mesmo edifício mas introduzindo-se duas variantes ao projeto, com o objetivo de estabelecer uma comparação entre os valores obtidos da solução real e das variantes.

Por fim, proceder-se-á à determinação do custo total, em euros, da energia necessária para produção do edifício, por forma a comparar a viabilidade económica das soluções estudadas.

1.3. Metodologia e Estrutura

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, sendo que este, o primeiro, corresponde a um capítulo introdutório, em que é apresentado um enquadramento do tema, os objetivos, a metodologia adotada e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, procede-se a uma revisão bibliográfica, através de pesquisas efetuadas a nível nacional e internacional. Neste capítulo, são apresentadas as temáticas da construção sustentável, energia incorporada nos materiais, demolição integral de edifício ou manutenção de fachadas, recuperação de materiais, entre outras temáticas propostas na bibliografia, dando a conhecer os trabalhos já realizados neste âmbito.

No terceiro capítulo, abordam-se os impactes ambientais mais relevantes provocados pela indústria da construção, aprofundando um dos critérios com maior interesse do ponto de vista ambiental, a energia incorporada nos materiais de construção, bem como, as metodologias para sua quantificação.

No quarto capítulo, é apresentado o caso de estudo, no que respeita à caracterização do edifício, à metodologia utilizada e aos cálculos da energia

incorporada, emissões de dióxido de carbono, análise de sensibilidade, custo ambiental e análise da variação da estimativa orçamental.

O quinto capítulo, revela a discussão de resultados obtidos no caso de estudo através da análise de quadros e representações gráficas.

O sexto, e último capítulo, contempla as conclusões gerais do trabalho, e ainda, algumas recomendações para trabalhos futuros.

De seguida, apresenta-se uma listagem de referências bibliográficas, que sustenta a informação contida na presente dissertação.

Por fim, são apresentados os anexos com os dados necessários à realização do caso de estudo.

Na **Fig. 1.1** apresenta-se de forma esquemática a estrutura da presente dissertação, tendo em conta os quatro primeiros capítulos, bem como os principais subtemas incluídos em cada um destes capítulos e a sua inter-relação.

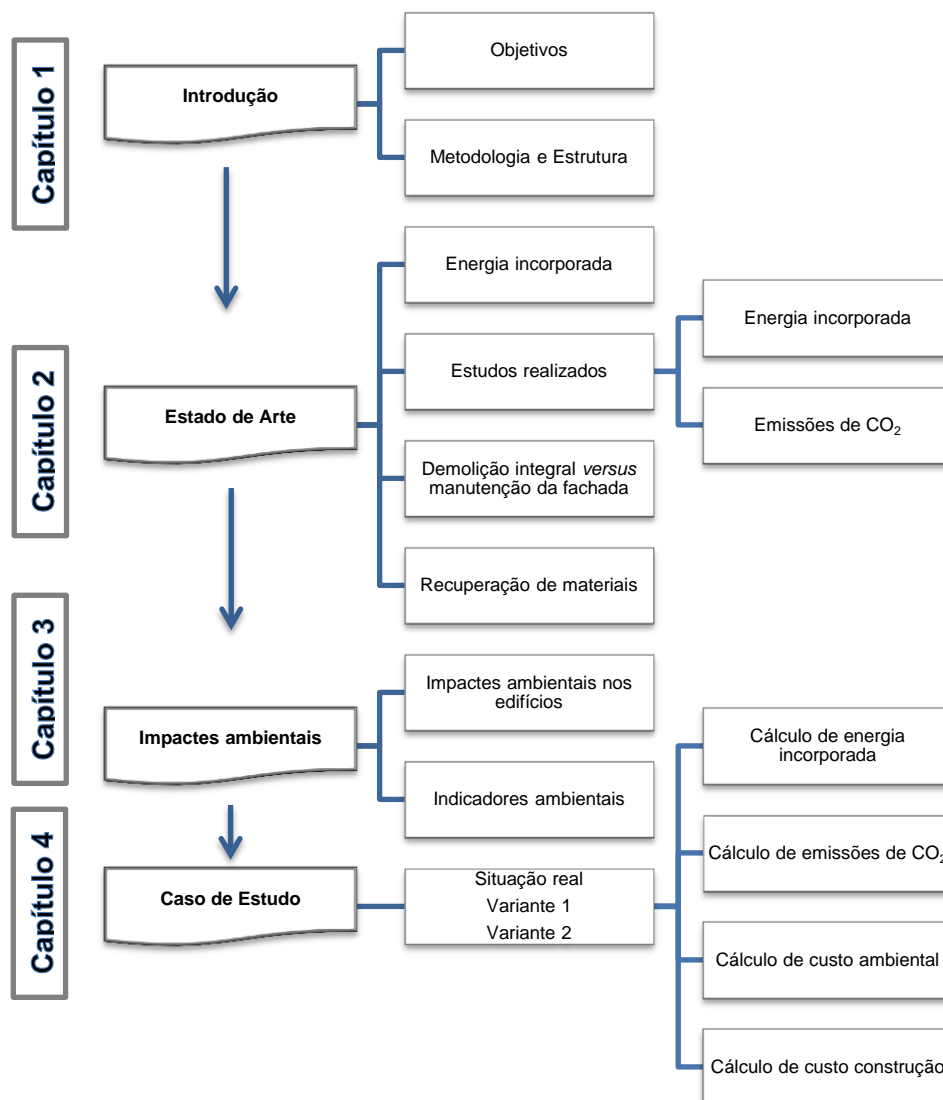


Figura 1.1 - Organograma dos capítulos e dos principais temas a abordar na dissertação

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1. Introdução

Neste capítulo, pretende-se realizar uma revisão bibliográfica sobre um conceito relativamente recente – energia incorporada nos materiais de construção -, como também introduzir as temáticas do desenvolvimento sustentável, construção sustentável, avaliação do ciclo de vida, custo ambiental, demolição integral do edifício ou manutenção das fachadas e recuperação de materiais. Tal como, apresentar estudos realizados sobre a energia incorporada nos materiais e emissões de dióxido de carbono.

2.2. Desenvolvimento Sustentável

Mateus (2006) afirma que na segunda metade século XX, o Homem começou a ter consciência da progressiva degradação provocada pelas suas políticas respeitantes ao meio ambiente, o que contribuiu para uma maior consciencialização e preocupação pelas questões ambientais.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável tem sido discutido ao longo dos anos, no entanto, a definição mais consensual é aquela que foi apresentada em 1987 pela Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento no relatório de Brundtland, intitulado de “Nosso Futuro Comum” onde se afirma que:

“Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.”

(Relatório de Brundtland, 1987)

No entanto, a relação do meio ambiente e o desenvolvimento foi só reconhecida pelo mundo em 1992, quando se realizou a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento onde nasceu um documento designado por Agenda 21.

A Agenda 21 apresentava um programa que ia para além das questões ambientais, abordando padrões de desenvolvimento que também provocavam danos ao meio ambiente, tais como, padrões insustentáveis de produção e consumo, pobreza, entre outros, com a missão de alcançar o desenvolvimento sustentável (ONU - Organização das Nações Unidas).

Em 1997, foi discutido e negociado em Quioto, no Japão, o Protocolo de Quioto, em que diversos países, incluindo Portugal, assumiam compromissos rígidos

no que respeita à emissão de gases de efeito de estufa, em especial em emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Decreto-Lei n.º 7/2002, 2002).

Estes compromissos tinham como objetivo primordial a de redução dos gases de efeito de estufa, em pelo menos cerca de 5% abaixo dos níveis de 1990, já que em caso de agravamento poderiam levar ao aquecimento global do planeta.

No âmbito das obrigações decorrentes do Protocolo de Quioto, Portugal devia limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa em 27% relativamente ao ano de 1990, no período de cumprimento de 2008 a 2012 (Decreto-Lei n.º 7/2002, 2002).

Em 2002, segundo a Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável (2002), na Conferência Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, reafirma-se o compromisso com o desenvolvimento sustentável, assumindo a responsabilidade de fortalecer os pilares interdependentes do desenvolvimento sustentável (**Fig. 2.1**), e que se sustentam mutuamente, que se designam: desenvolvimento económico, desenvolvimento social e proteção ambiental - nos âmbitos local, nacional, regional e global.

As conferências realizadas em 1992 e 2002 foram fundamentais na definição de desenvolvimento sustentável, pois constata-se que este conceito é muito mais lato do que o de proteção do ambiente, como já foi verificado, pois implica a preocupação pelas gerações futuras e a manutenção ou melhoria da salubridade e integridade do ambiente a longo prazo. Também inclui as preocupações com a qualidade de vida – e não só o crescimento económico –, a equidade entre pessoas no presente – incluindo a prevenção da pobreza –, a equidade entre as gerações – as gerações do futuro merecem um ambiente pelo menos tão bom como aquele de que usufruímos atualmente, se não melhor –, e preocupações com as problemáticas sociais, sanitárias e éticas do bem-estar humano (Mateus, 2006).

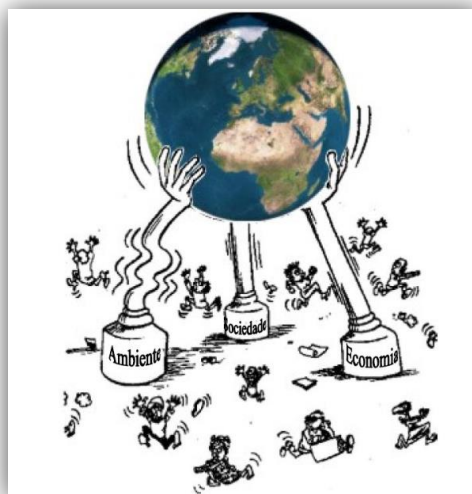


Figura 2.1 - Pilares de desenvolvimento sustentável (Mateus, 2006)

Mateus (2006) refere que existe uma interligação da indústria da construção com as três dimensões da sustentabilidade. São elas, a dimensão económica – com uma considerável participação no PIB, a dimensão social – por ser responsável por uma expressiva parcela na geração de postos de trabalho, e a dimensão ambiental – com utilização de recursos naturais e por a sua atividade estar intimamente relacionada com o meio ambiente, na medida em que modifica o ambiente natural através das suas intervenções – redes viárias, barragens, edifícios, etc.

Em termos ambientais, atualmente, e desde 1997, ano em que foi assinado o Protocolo de Quioto, Portugal apresenta metas ainda mais ambiciosas e mais exigentes no que respeita a alterações climáticas, em comparação com as metas definidas em períodos anteriores, em que o objetivo da União Europeia consiste em reduzir a emissão de gases com efeito de estufa em 80%-95% em 2050, face aos níveis de 1990 (APA - Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

Estas metas podem ser alcançadas através da adoção de mecanismos, designados por mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto, que permitem, por exemplo, o comércio internacional de licenças de emissões. Este mecanismo engloba operações de compra e venda de créditos, isto é, países podem comercializar créditos com emissões excedentes a países que estão a emitir acima dos seus limites.

Deste modo, o comércio de licenças de emissões permite que os países signatários do Protocolo de Quioto cumpram os compromissos assumidos de redução de emissões de gases de efeito de estufa (SENDECO₂, 2013).

2.3. Construção Sustentável

A indústria da construção, devido à grande quantidade de recursos que consome, à quantidade de resíduos que produz, à sua implicação na economia dos países e à sua inter-relação com a sociedade, não ficou alienada dos objetivos e metas que regem o desenvolvimento sustentável (Mateus, 2006).

Por isso, a Construção Sustentável, surge na indústria da construção como procura de atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável das edificações.

O conceito Construção Sustentável foi proposto pela primeira vez em 1994 pelo professor Charles Kibert, no âmbito da conferência sobre Construção Sustentável organizada pelo CIB (Conseil International du Bâtiment), sendo definido como:

“A criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos.”

(Kibert, 2008)

Esta definição implica que a aplicação dos critérios de sustentabilidade, deverá ser baseada na gestão criteriosa e prudente dos recursos naturais, avaliando e mitigando os seus impactes originados pelos processos e num ambiente saudável (Augusto, 2011).

Com base na definição de Construção Sustentável, o CIB definiu sete princípios da construção sustentável, enunciados por Kibert (2008) que se apresentam no **Quadro 2.1**:

Quadro 2.1 - Princípios da Construção Sustentável
(Kibert, 2008)

7 Princípios da Construção Sustentável	
1	Reduzir o consumo de recursos (reduzir)
2	Reutilizar recursos (reutilizar)
3	Utilizar recursos recicláveis (reciclar)
4	Proteger a natureza (natureza)
5	Eliminar os produtos tóxicos (resíduos tóxicos)
6	Analisar os custos de ciclo de vida (economia)
7	Assegurar a qualidade (qualidade)

Segundo o CIB, estes princípios devem ser tomados em conta nas decisões durante cada fase do processo de conceção e construção ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, ou seja, desde a fase de projeto até à fase de demolição. Estes princípios são aplicados ainda aos recursos necessários para criar e manter o ambiente construído durante a totalidade do seu ciclo de vida: terreno, materiais, água, energia e ecossistemas (Kibert, 2008).

A construção sustentável representa uma nova forma de equacionar a conceção, a construção, a operação e a demolição. Na perspetiva tradicional, as preocupações centram-se na qualidade do produto, no tempo despendido e nos custos associados (**Fig. 2.2**).

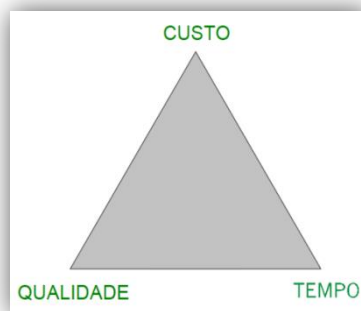


Figura 2.2 - Fatores de competitividade na construção tradicional
(Mateus, 2006)

Mais tarde, a construção sustentável somou a essas temáticas as preocupações ambientais relacionadas com o consumo de recursos, as emissões de poluentes, a saúde e a biodiversidade (**Fig. 2.3**), o que constitui um novo paradigma cujo desafio principal é o de contribuir para a qualidade de vida, para o desenvolvimento económico e para a equidade social.

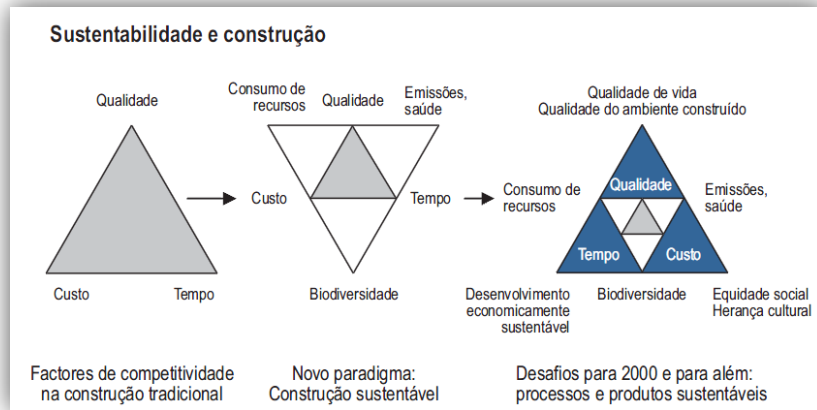


Figura 2.3 - Evolução das preocupações na construção
(Pinheiro, 2006)

Mateus (2006) defende que esta evolução rumou para que Construção Sustentável se tornasse num conceito holístico e multidisciplinar. É um conceito holístico, porque simplifica as interações prejudiciais e as positivas mais importantes que existem entre o meio construído e o meio natural em objetivos concretos, de modo a dar indicações objetivas aos diversos decisores da indústria da construção e à sociedade em geral, sobre as ações a desenvolver de modo a que esta indústria seja cada vez mais compatível com os objetivos do desenvolvimento sustentável.

A multidisciplinaridade deste conceito está associada ao facto de nos produtos finais desta indústria se integrarem diferentes valências profissionais e de existirem diferentes tipos de intervenientes durante a sua utilização, manutenção e final do ciclo de vida. As construções só poderão ser sustentáveis se for possível concentrar esforços entre os diferentes tipos de intervenientes no seu ciclo de vida.

Em suma, de acordo com a definição de Construção Sustentável, existem alguns princípios e prioridades que devem ser integradas em todas as fases que compõem o ciclo de vida de uma construção, rumo à sustentabilidade, tais como (Mateus, 2009):

- **Economizar água e energia** - Os edifícios devem ser concebidos de modo a assegurar uma gestão eficiente dos consumos energéticos e de água. Pois, o processo produtivo da energia elétrica provoca elevado

impacte ambiental devido à grande quantidade de gases poluentes emitidos, e porque a água é um bem precioso e cada vez mais escasso.

- **Assegurar a salubridade dos edifícios** - Deve-se salvaguardar o conforto ambiental no interior dos edifícios.
- **Maximizar a durabilidade dos edifícios** – Recorrer a pequenos investimentos nas fases de conceção e de construção para ampliar significativamente o ciclo de vida dos edifícios. Pois, quanto maior for o ciclo de vida de um edifício, maior será o período de tempo, durante o qual, os impactes ambientais produzidos durante a fase de construção serão amortizados.
- **Planear a conservação e a manutenção dos edifícios** – Devem-se realizar investimentos periódicos que permitam salvaguardar a conservação dos edifícios, de modo a aumentar o ciclo de vida das construções.
- **Utilizar materiais ecoeficientes** – Materiais que possuam baixo impacte ambiental, ou seja:
 - ser durável;
 - exigir poucas operações de manutenção;
 - incorporar baixa energia primária;
 - estar disponível nas proximidades do local de construção;
 - ser elaborado a partir de matérias recicladas e/ou que apresentem grande potencialidade de ser recicladas ou reutilizadas.
- **Minimizar a produção de resíduos** – Os resíduos da construção provêm das mais diversas fontes: produção de materiais, perdas durante o seu armazenamento e transporte, construção, manutenção e demolição do edificado.
- **Ser económica** - A análise económica de um sistema de construção deve envolver as diversas fases do seu ciclo de vida: conceção, construção, utilização, manutenção, reabilitação, demolição e gestão dos resíduos.
- **Garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção** - Deve-se realizar uma escolha criteriosa dos materiais, produtos, sistemas construtivos e processos de construção, de modo a melhorar as condições de trabalho dos trabalhadores e a potenciar a diminuição dos riscos de acidente, em cada uma das fases do ciclo de vida de uma construção.

2.4. Avaliação do Ciclo de Vida dos Materiais de Construção

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite a avaliação dos impactos ambientais dos materiais de construção ao longo da sua vida útil. Foi definida pela primeira vez na década de 90 pela SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*) do seguinte modo:

"Processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacto ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais."

(Pinheiro, 2006)

Esta avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, que abrange desde a extração e processamento de matérias-primas à reciclagem ou deposição final, passando pelas fases de transformação, transporte, distribuição e utilização. Esta análise permite uma estimativa dos impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, processo ou atividade (**Fig. 2.4**) (Pinheiro, 2006).

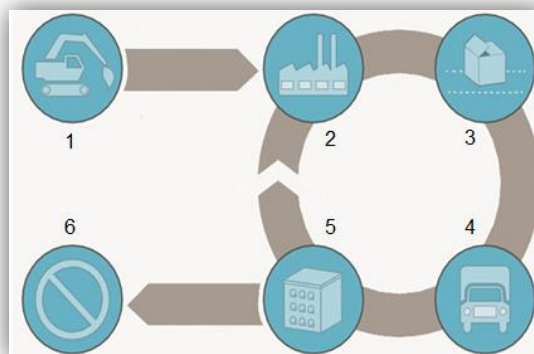


Figura 2.4 - Fases do ciclo de vida
(adaptado de Preservation Green Lab)

Legenda:

1. extração de matérias-primas;
2. processamento de matérias-primas;
3. fabrico de materiais;
4. transporte e distribuição;
5. utilização do edifício;
6. fim de vida útil dos materiais.

Segundo Torgal & Jalali (2011), a aplicação de análises do ciclo de vida encontra-se regulamentada a nível internacional por normas.

Segundo a ISO 14040:2006, a ACV é um processo sistemático que envolve quatro fases (**Fig. 2.5**).

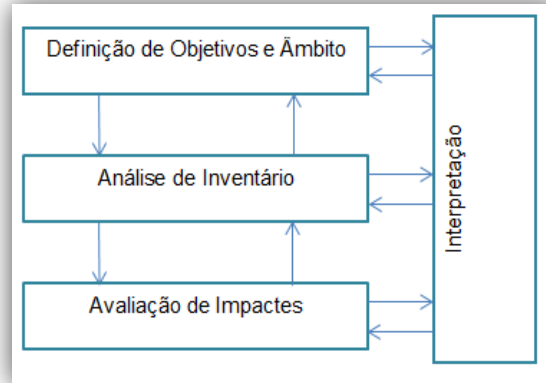


Figura 2.5 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida
(adaptado de ISO 14040:2006)

- **Definição de objetivos e âmbito** - define-se e descreve-se o produto e estabelece-se o contexto no qual a avaliação vai ser realizada;
- **Fase de inventário** – recolha dos dados considerados importantes para a análise, por exemplo, consumo energético, consumo de matérias-primas, emissões ambientais, entre outros;
- **Avaliação do impacte no ciclo de vida** – avalia o impacte ambiental dos materiais ou produtos, tendo em conta os dados anteriormente recolhidos;
- **Interpretação do ciclo de vida** – interpretação dos resultados obtidos em cada etapa (Lucas, 2008).

Para a aplicação da metodologia de análise do ciclo de vida existem disponíveis diversos sistemas informáticos que permitem quantificar e avaliar os efeitos dos materiais, a partir de categorias de impactes ambientais.

A título de exemplo, pode-se destacar o programa BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), destinado à tomada de decisão relativamente a materiais de construção, que aborda doze categorias de impacte (Torgal & Jalali, 2011):

- potencial de aquecimento global;
- potencial de acidificação;
- potencial de eutrofização;
- consumo de combustíveis fósseis;

-
- qualidade do ar;
 - alteração de habitat;
 - consumo de água;
 - poluição do ar;
 - saúde pública;
 - potencial de formação de *smog*;
 - potencial de degradação da camada de ozono;
 - toxicidade ecológica.

No entanto, Augusto (2011) aponta para alguma incerteza na utilização das ferramentas de ACV, pois existem limitações e inconvenientes no que respeita à quantidade e qualidade dos dados, devido sobretudo, à indisponibilidade de dados por parte de fabricantes ou entidades.

2.5. Custo ambiental

O custo é um dos critérios que mais se tem em conta na tomada de decisão de selecção de um material de construção. Desta forma, deve-se associar os custos económicos ao ciclo de vida dos materiais, pois não se deve apenas ter em atenção o custo de aquisição mas também outros custos, nomeadamente, custos de manutenção (Augusto, 2011).

Numa perspetiva de custos de ciclo de vida dos materiais, John *et al.* (2007) afirmam que custos ambientais são aqueles que se referem a esforços financeiros aplicados a bens ou serviços com o objetivo de preservar, recuperar e controlar o meio ambiente.

Considera-se, então, que existe uma correlação entre o aspeto ambiental e o económico. Pois, para desenvolver soluções ambientalmente mais sustentáveis é necessário um investimento inicial na fase de projeto e construção, e daí, a ideia de que este tipo de construções é mais oneroso. No entanto, estudos apontam para que apesar de um investimento inicial que até pode ser elevado, por exemplo na seleção de materiais ambientalmente mais sustentáveis e/ou na adoção de medidas de eficiência energética, podem ocorrer poupanças de ciclo de vida muito superiores ao investimento inicial (Augusto, 2011).

Bento (2007) vai mais longe em afirmar que existe um verdadeiro preço ambiental, ou seja, que custo ambiental é uma parcela de custo associado ao impacte ambiental, que é muitas vezes desconsiderada em prol de benefícios económicos. Quer isto dizer que, se fossem considerados todos os custos ambientais, o preço dos materiais de construção (preço de mercado mais custo ambiental) seria significativamente mais elevado.

Deste modo, Torgal *et al* (2005), afirmam que, a médio prazo, ao custo do material deve ser imputado o seu custo ambiental, beneficiando os materiais amigos do ambiente e penalizando os materiais com elevados níveis de emissões de CO₂.

2.6. Energia incorporada nos materiais de construção

No âmbito energético e ambiental, pode-se afirmar que a seleção de materiais é um dos mais importantes e complexos desafios, entre muitos outros, que qualquer equipa encarregada do projeto de uma construção sustentável tem que enfrentar (Lucas, 2008).

Torgal & Jalali (2010) afirmam que os materiais de construção têm grande importância no contexto da construção sustentável, pois o comportamento ambiental de obras de infraestruturas e de edifícios é determinante na altura da sua execução, estando em grande parte do mesmo condicionado aos materiais de construção utilizados, apesar de no caso do setor dos edifícios, admitir-se que a fase de utilização é a que provoca maiores impactes ambientais, associado aos elevados consumos de energia. Contudo, a parcela de consumo de energia referente à construção do edifício não deve ser negligenciável.

Os impactes ambientais causados pelos materiais de construção, são então, inegáveis, pois, à escala mundial, o setor da construção pode consumir cerca de 75% dos recursos naturais, para além do transporte envolvido e também a produção e a utilização de materiais de construção contribuirão de forma significativa para a poluição da atmosfera e emissão de gases de efeito de estufa. Por isso, deveremos tender a adotar sistematicamente critérios de sustentabilidade para a escolha dos materiais de construção (Augusto, 2011).

A energia incorporada é um dos critérios mais utilizados para a escolha dos materiais de construção do ponto de vista ambiental, pois, materiais com elevada energia incorporada geralmente têm alto impacte ambiental.

Segundo Kibert (2008), energia incorporada é definida como:

“Total de energia consumida na extração de matérias-primas, nos seus processos de transformação, no transporte, bem como, da energia envolvida no processo construtivo. “

(Kibert, 2008)

No entanto, Mateus (2006) vai mais longe e propõe uma definição diferente. Segundo este, a energia incorporada nos materiais corresponde à quantidade de

energia necessária para a sua produção, transporte, aplicação na obra, manutenção e demolição.

A partir destas definições é possível constatar que existem diferentes abordagens, que podem ser desde da extração de matérias-primas até à saída da fábrica (*cradle to gate*), desde da extração de matérias-primas até à aplicação de materiais em obra (*cradle to site*), ou desde da extração de matérias-primas até à demolição e deposição de resíduos (*cradle to grave*) (Torgal & Jalali, 2010).

A energia consumida tendo em conta esta última abordagem pode variar entre 6 a 20% da quantidade total de energia consumida durante a vida útil de um edifício, em que aproximadamente 80% deste valor, corresponde à Energia Primária Incorporada (PEC - *Primary Energy Consumption*) dos materiais. A PEC representa os recursos energéticos consumidos durante a produção dos materiais, incluindo a energia diretamente relacionada com a extração das matérias-primas, com o seu transporte para os locais de processamento e com a sua transformação (Mateus, 2006; Berge, 2009). A **Fig. 2.6** representa as diferentes fases do ciclo de vida dos materiais, bem como, os consumos de energia que lhe estão associados.

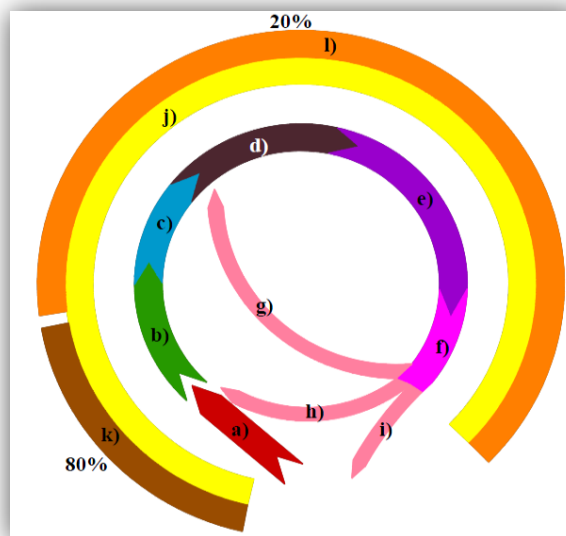


Figura 2.6 - Ciclo de vida dos materiais de construção e consumos energéticos associados (Mateus, 2006)

Legenda:

- a. extração das matérias-primas;
- b. produção;
- c. transporte para o estaleiro de obras;
- d. construção;
- e. manutenção;

- f. demolição;
- g. reutilização;
- h. reciclagem;
- i. deposição/eliminação;
- j. energia total incorporada nos materiais;
- k. energia primária incorporada nos materiais;
- l. energia incorporada nos materiais nas fases de transporte, construção, manutenção e demolição.

Como já referido, enquanto que a energia primária incorporada corresponde a 80% da energia total, os restantes 20% incluem as fases de transporte dos materiais transformados, construção, manutenção e demolição. Porém o valor da PEC não é constante, pois varia de país para país e mesmo dentro de cada país, de região para região. Este facto depende de diversas variáveis que deverão ser consideradas, nomeadamente, tipo de combustível utilizado no processo de transformação das matérias-primas e no seu transporte, distância de transporte das matérias-primas, quantidade de matéria reciclada utilizada, entre outras (Mateus, 2006).

Deve-se então, procurar reduzir a energia incorporada nos edifícios, já que segundo Kibert (2008), produtos com elevada energia incorporada contribuem significativamente para as emissões de gases de efeito de estufa, nomeadamente CO₂, associados ao consumo de energia. Mas para avaliar corretamente um produto deve-se analisar o seu tempo de vida útil, de modo a poder traduzir-se num indicador mais fiável do impacte ambiental que pode provocar. Pois, um material com elevada durabilidade pode ter baixa energia incorporada de utilização.

Por exemplo, o alumínio é um material que apresenta elevada energia incorporada mas dada a sua elevada durabilidade e capacidade de ser reciclável, pode vir a ter uma baixa energia incorporada de utilização (Kibert, 2008). Por outro lado, a madeira é dos materiais que apresenta menor energia incorporada e, sendo bem utilizada, pode ter elevada durabilidade, o que lhe confere muito baixa energia incorporada de utilização.

Nesta perspetiva, para reduzir a energia incorporada nos edifícios, deve dar-se preferência a materiais que cumpram alguns critérios, tais como:

- **Preferir produtos locais** - deve-se preferir materiais de construção produzidos na região, pois terão que percorrer distâncias mais curtas;
- **Utilizar materiais com elevado potencial de reutilização e/ou grande durabilidade** – a seleção dos materiais deve ter em conta a totalidade do seu ciclo de vida (Dinis, 2010).

2.7. Estudos realizados sobre energia incorporada nos materiais de construção e emissões de CO₂

2.7.1 Energia incorporada nos materiais de construção

A nível nacional o consumo de energia no setor da construção civil tem-se revelado num desafio importante que alguns autores têm procurado estudar. Neste sentido, abordam-se estudos realizados por alguns autores (Bento, 2007; Torgal & Jalali, 2011). Estes quantificaram o impacte ambiental provocado pelo critério energia incorporada nos materiais de construção, mas através de diferentes metodologias. Se Bento (2007) recorreu às equações do método de Adalberth (1997), Torgal & Jalali (2011) utilizaram as listagens de valores de energia incorporada para diversos materiais de construção de autores muito abordados nesta temática, Hammond & Jones (2008).

Bento (2007) procurou conhecer o impacte ambiental da construção de novos edifícios, para isso, desenvolveu um estudo ao Pavilhão Atlântico, construído para a Expo'98, com objetivo de quantificar o impacte ambiental, mais concretamente, a energia incorporada nos seus materiais de construção.

Para efeitos da determinação do valor da energia incorporada total nos materiais de construção utilizados no projeto, Bento (2007) recorreu às equações utilizadas num caso de estudo desenvolvido por Adalberth (1997), que propôs uma metodologia para estimar o consumo de energia durante o ciclo de vida de um edifício, e ainda, apresentou informação energética de referência de cada um dos materiais ou processos de construção.

Para Bento (2007) desenvolver o seu caso de estudo sobre o Pavilhão Atlântico, considerou algumas das fases do ciclo de vida dos materiais de construção utilizados no projeto, nomeadamente, as fases de transformação, produção e transporte de materiais e processos de construção, bem como, as necessidades energéticas associadas a cada uma das fases em estudo.

A título de exemplo, apresenta-se a equação que permite a determinação de energia necessária aos processos de construção, através da aplicabilidade do método de Adalberth (1997), método que será melhor aprofundado no subcapítulo referente à quantificação de energia incorporada nos materiais de construção.

Equação 1

$$Q_{const} = \sum_{j=1}^n p_j \times P_j$$

Em que a energia incorporada associada aos processos de construção (Q_{const}) é dado pelo produto da quantidade considerada no processo de construção em ton, m^2 ou m^3 (p_j) pela componente energética dos diferentes processos utilizados na construção em kWh/ton, kWh/ m^2 ou kWh/ m^3 (P_j).

Após a quantificação da energia incorporada total do projeto, uma das conclusões que Bento (2007) salientou com este estudo foi que a fase que mais contribuiu para a energia incorporada na construção foi a de transformação e fabrico dos respetivos materiais.

Já depois, Torgal & Jalali (2011), autores que se têm debruçado na problemática da sustentabilidade na construção, apresentaram resultados da energia incorporada nos materiais de construção e energia operacional no âmbito de um estudo desenvolvido num edifício com uma vida útil de habitação de 50 anos.

Neste estudo, procuraram determinar a energia operacional dos apartamentos do edifício e a energia incorporada dos materiais utilizados na construção do mesmo.

Na determinação da energia operacional recorreram à faturação dos consumos energéticos (energia elétrica e gás) e estimaram a energia operacional para o período de 50 anos. Já o cálculo da energia incorporada nos materiais, tendo em consideração a energia de produção, energia de transporte e energia de construção, foi realizado através do produto da quantidade de material utilizada na construção do edifício objeto de estudo pelos coeficientes de energia incorporada propostos por alguns autores (Hammond & Jones, 2008).

Esta estudo permitiu constatar diversos aspetos, designadamente, no que respeita à energia de produção, e como se pode verificar na **Fig. 2.7**, o betão é o material responsável pela parcela mais significativa deste consumo, com 52,7%, seguido das armaduras com 19,2%.

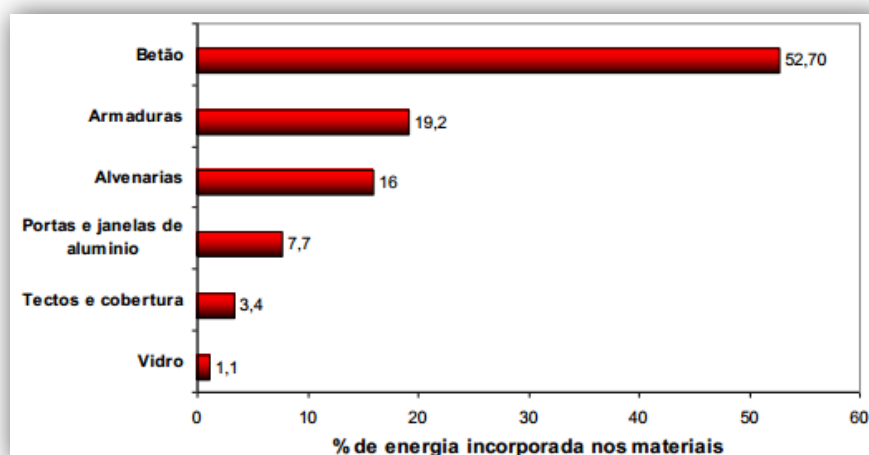


Figura 2.7 – Energia incorporada nos materiais responsáveis pela parcela mais significativa do consumo (Torgal & Jalali, 2011)

Ainda foi possível verificar que, comparando com a energia necessária para transporte e construção do edifício, a energia de produção, em termos de consumo energético, é a que apresentou um valor mais elevado, mostrando que, a energia incorporada total do edifício poderia reduzir se ocorresse uma redução substancial na energia incorporada no betão (Torgal & Jalali, 2011).

Torgal & Jalali (2011) reforçaram a necessidade dos projetistas optarem por materiais com baixos valores de energia incorporada, propondo soluções para reduzir a energia incorporada, tais como, substituição do cimento por aditivos pozolânicos, utilização de pavimentos mistos madeira-betão, entre outros.

Em jeito de análise a estes dois exemplos de quantificação de energia incorporada, verifica-se que, como mostra por exemplo a **Fig. 2.7**, é possível estabelecer uma rápida comparação entre as diversas escolhas de materiais de construção disponíveis no mercado, tendo em consideração os respetivos valores energéticos, apesar de nestas quantificações não ser possível obterem-se valores muito rigorosos (Bento, 2007).

2.7.2 Emissões de Dióxido de Carbono

Os gases de efeito de estufa são imprescindíveis para a manutenção da vida na Terra, pois tem um papel importante no controlo da temperatura do planeta.

A radiação solar atinge a superfície, sendo uma parte desta radiação absorvida pela superfície terrestre, outra parte refletida para o espaço. Após o aquecimento da superfície terrestre, a radiação infravermelha é refletida pela superfície da terra mas não regressa ao espaço, sendo absorvida pelos GEE presentes na atmosfera e que re-emitem novamente a radiação para a superfície terrestre, contribuindo para o aumento da temperatura na Terra.

De entre os GEE destacam-se o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido de nitroso (N_2O), os hidrofluorcarbonetos (HFC), os perfluorcarbonetos (PFC), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), o vapor de água (H_2O) e o ozono (O_3).

No entanto, um agravamento dos gases de efeito de estufa pode desencadear o aquecimento global, e portanto, poderá levar à ocorrência de alterações climáticas (alteração de precipitação, ondas de calor, entre outras).

Os edifícios são responsáveis por parte dos impactes ambientais, nomeadamente, nas emissões de dióxido de carbono, devido sobretudo aos consumos energéticos (Henriques, 2008).

Henriques (2008) enuncia um estudo de Kofoworola & Gheewala (2008), em que efetuaram uma estimativa das emissões de GEE associadas às principais fases do ciclo de vida dos materiais, cujos resultados sugerem que a fase de produção de

materiais e a fase de operação do edifício são as que mais contribuem para as emissões de CO₂ (Fig. 2.8).

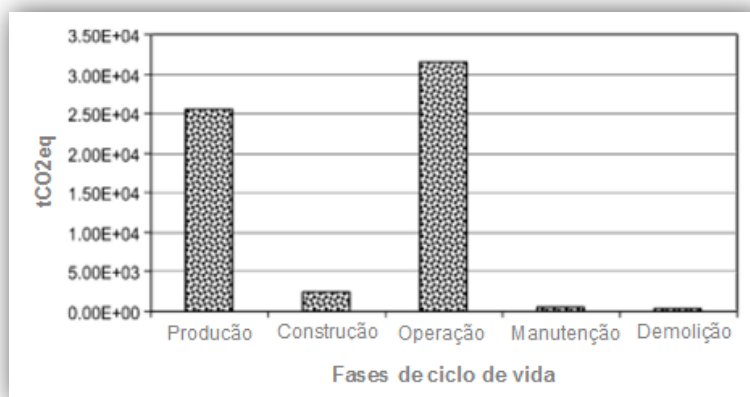


Figura 2.8 - Emissões de GEE em cada fase do ciclo de vida de um edifício (adaptado de Kofoworola & Gheewala, 2008 citado em Henriques, 2008)

Henriques (2008) verifica ainda que o fabrico de materiais de construção é responsável por 15% das emissões de gases de efeito de estufa associadas ao ciclo de vida do edifício, sendo o betão responsável por 8% das emissões associadas à fase de produção dos materiais de construção.

2.8. Demolição integral *versus* manutenção da fachada

Em edifícios em elevado estado de degradação, obras de recuperação ou restauro podem traduzir-se insuficientes, pelo que, nestes casos pode-se proceder a uma intervenção mais profunda, como por exemplo, demolição do edifício, total ou parcial.

No caso de demolição parcial, considera-se que ocorre demolição do interior do edifício e a contenção da fachada, como forma de preservar elementos com valor arquitetónico e/ou patrimonial (Cruz, 2008). Esta tendência tem sido crescente e pode-se designar por “fachadismo”, em que nos edifícios antigos aproveita-se apenas a fachada e constrói-se uma nova estrutura com materiais modernos (aço ou betão) (Cóias, 1999).

A decisão de optar por demolição integral ou manter as fachadas de edifícios em centros urbanos históricos é um tema controverso, não existindo uma linha de pensamento comum. Se uns defendem que a conservação histórica pode andar de mãos dadas com o desenvolvimento, outros asseguram que os edifícios com valor histórico devem ser preservados na sua totalidade (Sousa, 2012).

Cóias (2006) é um exemplo de quem procura manter a autenticidade dos edifícios por dentro e por fora, pois a demolição de edifícios antigos, seja total ou parcial, põe em causa o valor histórico e cultural das zonas históricas das cidades.

Mas, nem sempre manter edifícios antigos e reabilitá-los, é uma boa opção do ponto de vista da segurança, porque a maioria dos edifícios em Portugal apresentam grande vulnerabilidade na resistência aos sismos de elevada intensidade. Desta forma, Cóias (2006), ao pretender manter a autenticidade dos edifícios antigos, defende que para estes serem preservados na sua totalidade devem dotar de uma boa resistência sísmica.

Numa perspetiva de analisar a viabilidade de se proceder à manutenção de fachadas de edifícios antigos, em modo síntese, enunciam-se as principais vantagens da adoção de manutenção da fachada (Sousa, 2012):

- preservar a identidade histórica e arquitetónica;
- aumentar a área útil do edifício através da construção de caves e pisos adicionais acima dos pisos antigos;
- contribuir para a sustentabilidade, pois reduz a quantidade de resíduos de demolição, menores quantidades de energia na produção e emissões de CO₂;
- maior interesse de instituições e entidades importantes em edifícios com valor histórico e patrimonial.

No entanto, a solução de manter fachadas também apresenta algumas desvantagens, nomeadamente, no que se refere a questões de segurança, pois algumas fachadas de edifícios antigos apresentam fraca aptidão para resistir a sismos de grande magnitude, como também, pode tornar a obra mais dispendiosa e morosa, devido sobretudo aos cuidados a ter nos trabalhos de demolição e da ligação da fachada com a nova estrutura (Sousa, 2012).

2.9. Recuperação de materiais

Como já referenciado no contexto dos critérios a utilizar na redução da energia incorporada, deve-se procurar recuperar materiais que se encontrem em relativo bom estado de conservação, quando os edifícios chegam ao fim da sua vida útil.

Lucas (2008) afirma a importância da recuperação de materiais, seja para reciclar ou reutilizar, pois permitem reduzir os impactes ambientais associados aos consumos energéticos dos processos de extração de matérias-primas e à produção de novos materiais, como também permite reduzir os resíduos depositados em aterro.

A quantidade de resíduos e a eventual reutilização ou reciclagem depende de diversos fatores, mas deve-se salientar a grande importância da fase de conceção, no

que respeita à seleção de materiais que facilitem a sua desconstrução no final do ciclo de vida, e da fase de demolição ou desconstrução no que se refere à capacidade de desmantelar construções e recuperar materiais para reutilização e/ou reciclagem (Augusto, 2011).

Numa perspetiva de analisar a capacidade dos materiais em serem reutilizados e/ou reciclados, existem materiais com maior ou menor potencial de reutilização e reciclagem que importa conhecer, e que serão descritos e analisados no ponto 3.3.3 do capítulo 3 deste trabalho.

CAPÍTULO 3 – IMPACTES AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

3.1. Tipologias de Impactes da Construção

Segundo Mateus (2006), existe uma relação de interdependência entre o ambiente construído e o meio ambiente, pois o ambiente construído depende dos recursos provenientes do meio ambiente. Alguns dos produtos resultantes do meio construído são posteriormente devolvidos a este. As interações entre estes dois meios designam-se por impacte ambiental.

Em Portugal, devido aos projetos e atividades que se realizam e que provocam efeitos no ambiente, surgiu a necessidade de implementação de legislação que permita avaliar e controlar os impactes ambientais. Assim, o processo de avaliação destes encontra-se regulamentado pelo Decreto-lei n.º 69/2000, que aprova o regime jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) de projetos públicos e privados com efeitos significativos no ambiente.

De acordo com o Decreto-Lei n.º69/2000 impacte ambiental é definido como sendo:

“Conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar.”

(Decreto-Lei n.º69/2000, 2000)

Deste modo, no setor dos edifícios, a análise do ciclo de vida torna-se uma ferramenta importante na identificação e avaliação do desempenho ambiental das edificações ao longo da sua vida útil, permitindo analisar a complexa relação de um sistema (produto, material ou edifício) com o ambiente ao longo de todo o seu ciclo de vida, partindo do princípio de que todas as fases geram impacte ambiental. No entanto, de acordo com Pinheiro (2006), as diferentes etapas do ciclo de vida da construção apresentam impactes em três dimensões: económica, ambiental e social.

A **Fig. 3.1** mostra resumidamente os impactes decorrentes de cada uma das fases do ciclo de vida das construções.

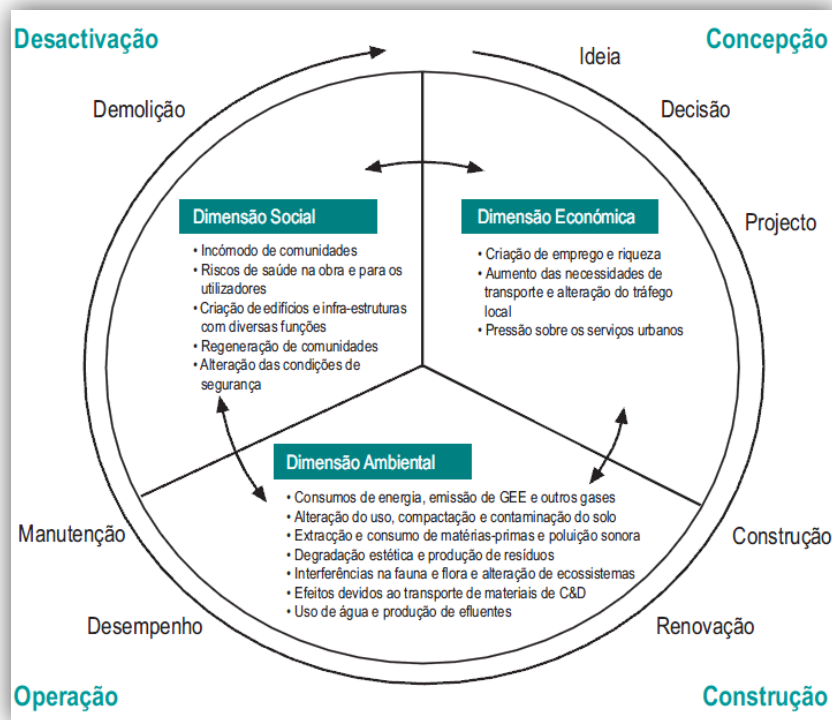


Figura 3.1 - Impactes do ciclo de vida das construções
(Pinheiro, 2006)

Em síntese, dos impactes ambientais mais relevantes provocados pela construção civil podem destacar-se os seguintes (Pinheiro, 2006):

- extração e consumo de matérias-primas;
- alteração do uso do solo;
- ruído resultante das atividades construtivas e de operação (poluição sonora);
- consumos de energia e emissões de gases com efeito de estufa.

Dos impactes socioeconómicos podem referir-se:

- incómodos nas populações e comunidades;
- eventuais riscos de saúde pública, na obra e para os utilizadores;
- necessidades suplementares de acessibilidades, de transportes e de alteração do tráfego local;
- alteração das condições de segurança;
- geração de emprego;
- conforto, riqueza e desenvolvimento.

As atividades da construção e o ciclo de vida do ambiente construído, atendendo às suas características e especificidades, originam uma procura de recursos minerais, energia e água, e conduzem a importantes alterações no local, como por exemplo, no que diz respeito ao solo, ecologia e paisagens. Para além da

pressão sobre os recursos, a construção, operação, demolição, reabilitação e desativação do ambiente construído, estão ainda relacionados com a produção de cargas ambientais, como é o caso de resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas e da poluição acústica, térmica e luminosa (Mateus, 2009).

De acordo com Pinheiro (2006), existem múltiplas formas de sintetizar os impactes. Deste modo, este autor propôs a organização dos impactes ambientais da construção em quatro dimensões, nomeadamente, (i) pressão sobre os recursos; (ii) emissões e cargas ambientais; (iii) alterações nos sistemas ambientais de base natural; (iv) alterações nos sistemas ambientais de base construído (**Fig. 3.2**).

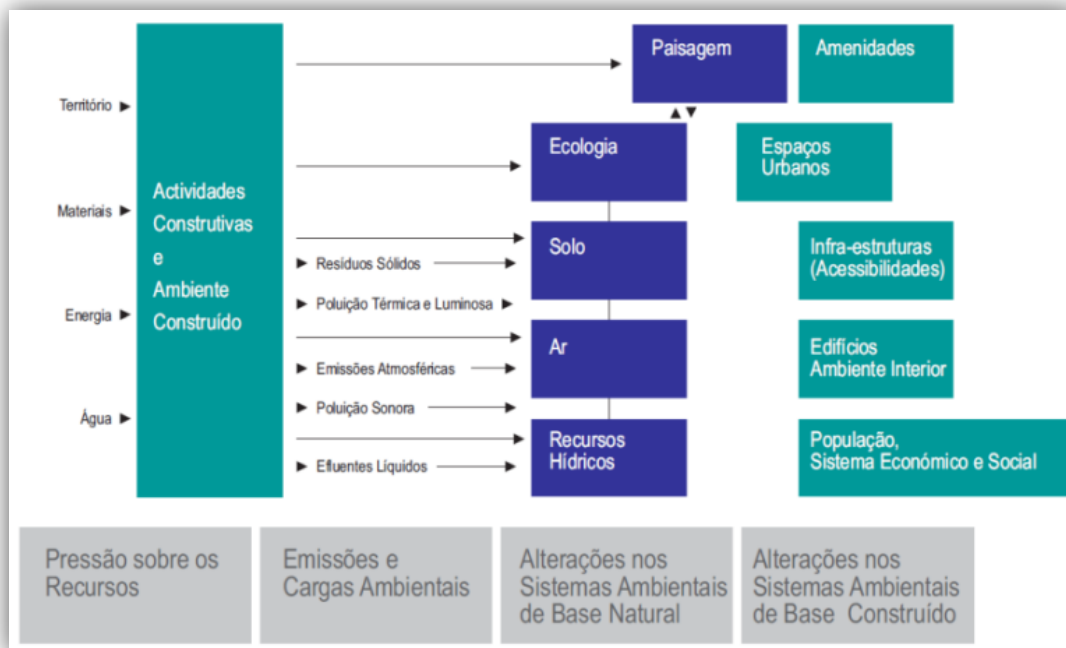


Figura 3.2 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção (Pinheiro, 2006)

3.1.1 Pressão sobre os recursos

A pressão sobre os recursos diz respeito à ocupação do solo, à extração e consumo de materiais, energia e água. Os materiais, a energia e a água utilizados na construção e nos ambientes construídos, têm de ser extraídos, processados e transportados até ao local onde serão usados (Pinheiro, 2006).

3.1.2 Emissões e cargas ambientais

Nas suas operações, as atividades e os ambientes construídos, originam emissões e cargas poluentes, tais como, resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas, poluição sonora e vibrações, e poluição térmica e/ou luminosa (Pinheiro, 2006).

No que concerne aos resíduos resultantes da construção ou demolição, estes constituem uma grande preocupação pelas implicações que, quando recolhidos ou depositados inadequadamente, colocam em causa a saúde pública e o meio ambiente.

A deposição em aterro constitui uma operação com efeitos potencialmente negativos sobre o ambiente e riscos para a saúde pública (podem causar poluição atmosférica, da água e do solo), e por isso, não representa em si mesma uma operação de valorização de resíduos (INE, 2010).

Quanto às emissões atmosféricas, as atividades de transporte, processamento e produção em estaleiro de certos materiais de construção, como por exemplo do betão, podem originar emissões atmosféricas de partículas e de outros poluentes, que contribuem para a alteração da qualidade do ar, com implicações ambientais, por vezes, importantes (Mateus, 2009).

O ambiente construído, devido aos elevados consumos energéticos que lhe estão associados, corresponde a uma das maiores fontes de emissões de gases de efeito de estufa a nível mundial. Estas emissões atmosféricas contribuem significativamente para as alterações ambientais, e por isso, deve-se promover a mitigação das emissões destes gases (Mateus, 2009).

3.1.3 Alterações aos sistemas ambientais de base natural

A procura de materiais, energia e água, a pressão sobre o território, as intervenções construtivas, as cargas e as emissões, originam alterações aos sistemas ambientais de base natural, nomeadamente no solo, água (recursos hídricos), ecologia, paisagem natural e qualidade do ar. As alterações que podem ocorrer nestes sistemas, isto é, os respetivos impactes, traduzem-se não apenas em termos de alterações quantitativas, mas também qualitativas.

A necessidade de matérias-primas, associada à indústria extrativa, pode originar, nas zonas intervencionadas, alterações nos sistemas ambientais, com vários efeitos que vão desde a remoção do solo, a alteração da ecologia local, o aumento dos processos erosivos, e até a um importante impacte paisagístico com reflexos ambientais importantes (Pinheiro, 2006).

3.1.4 Alterações aos sistemas ambientais de base construída

As alterações aos sistemas ambientais de base construída, se efetuadas dentro dos seus limites, têm contributos, em geral, muito positivos (embora igualmente alguns impactes e riscos ambientais), para a paisagem construída, espaços urbanos, infraestruturas, espaços edificados e dinâmica socioeconómica.

Os impactes da construção em espaços urbanos dependem do respeito pelas características e qualidades existentes (por exemplo, patrimoniais) e pelos limites das capacidades dos espaços construídos (por exemplo, nas infraestruturas).

As intervenções em zonas onde se registou já intervenção humana com relevância e interesse, devem ser efetuadas cuidadosamente, uma vez que podem alterar o património, quer arquitetónico, quer arqueológico, quer ainda cultural (Pinheiro, 2006).

3.2. Impactes ambientais dos edifícios

Os impactes ambientais provocados pelos edifícios ocorrem nas diferentes fases do seu ciclo de vida, uma vez que é nestas que se desenvolvem atividades que podem gerar impactes a nível ambiental.

Assim, importa conhecer os impactes associados a cada um dos estádios do ciclo de vida dos materiais, desde o planeamento, construção, operação, manutenção e demolição do edifício, não esquecendo o destino final dado aos materiais.

3.2.1 Planeamento

Para Pinheiro (2006), a fase de planeamento é uma das mais importantes do ciclo de vida, se não mesmo a mais importante, pois é a fase onde se efetua o levantamento das condições que permitem projetar o edifício, tal como, onde são estudadas estratégias e soluções fundamentais para o desempenho dos edifícios nas fases seguintes.

Esta etapa compreende as principais decisões relativamente ao local, conceção, materiais, necessidades energéticas, entre outras, cujas consequências se irão refletir nas restantes fases do ciclo de vida da construção.

A fase de planeamento é, então, relevante na medida em que ocorre a tomada de decisões quanto à conceção e podem ser delineadas estratégias que visam a redução dos impactes provocados pela construção e operação do edifício.

Quanto aos impactes ambientais associados a esta fase Pinheiro (2006), afirma que são provocados pelos trabalhos de conceção do edifício e de levantamento de dados da zona de implantação, o que se traduz, comparativamente com as restantes fases, em impactes muito reduzidos, sendo causados essencialmente por:

- energia, transporte e deslocações: para analisar o local e efetuar os levantamentos necessários;
- consumos e emissões associados à operação de escritórios, dado que a maior parte da atividade é desenvolvida neste locais.

3.2.2 Construção

Nesta fase são colocadas em prática as opções construtivas tomadas na fase anterior, e portanto, começam-se a refletir as primeiras consequências das mesmas.

Na fase de construção a atenção recai, sobretudo, sobre a forma de desenvolvimento do processo construtivo, sendo esta associada essencialmente, à intervenção no local, pois ocorre alteração do uso do solo, consumo de matérias-primas, energia e água e alterações nos ambientes natural e/ou construído (Pinheiro, 2006).

Henriques (2008) afirma que é nesta etapa que ocorrem os impactes e as alterações mais significativas, desde a extração de recursos naturais, para posterior consumo de matérias-primas fundamentais para a construção do edifício, passando pelo consumo de combustíveis fósseis e emissões atmosféricas associadas ao transporte dessas. Já para não falar das quantidades de resíduos gerados em obra, da interferência das atividades desenvolvidas com o ambiente natural (nomeadamente a fauna e a flora).

3.2.3 Operação

Esta fase corresponde à fase de utilização do edifício, e portanto, traduz-se na fase mais longa do seu ciclo de vida.

Mateus & Mota (2011) referem que esta etapa é a que mais contribui para os impactes totais do edifício, pois é nesta fase que ocorrem os maiores consumos de energia, para condicionamento de ar, iluminação, ventilação e produção de águas quentes, com os impactes associados.

No que respeita ao consumo de água, os impactes traduzem-se sob a forma de efluentes líquidos, que necessitam de tratamento adequado em ETAR's (Estações de Tratamento de Águas Residuais), e conseqüentemente, vão consumir energia e produzir lamas.

Outras emissões podem ser causadas pela utilização de materiais que podem conter ou libertar substâncias perigosas, como também, condições de humidade, temperatura ou ventilação inadequadas podem desenvolver agentes patogénicos, que podem originar riscos de saúde para os utilizadores (Pinheiro, 2006).

Para reduzir os consumos e os respectivos impactes, Henriques (2008) aponta que uma medida importante a tomar nesta fase passaria pela existência de mecanismos de monitorização que permitam a avaliação da eficiência das soluções implementadas aquando da etapa de planeamento, de modo a avaliar a eficiência do edifício.

3.2.4 Manutenção

Esta fase diz respeito às operações de substituição de materiais num edifício, e deste modo, os impactes são inerentes às atividades desenvolvidas nestas intervenções. Como nesta etapa procura-se evitar demolições desnecessárias, mesmo que parciais, e reaproveitar o máximo de determinados materiais, é importante que se recorra a técnicas que permitam reduzir os consumos, sobretudo, de energia, como por exemplo, equipamentos mais eficientes (Henriques, 2008).

3.2.5 Demolição e remoção

Este estágio corresponde à desativação do edifício, por isso, os impactes estão relacionados com a forma como a intervenção é efetuada e com destino dado aos materiais demolidos.

Neste sentido, os impactes produzidos resultam fundamentalmente da produção de resíduos, dos consumos de energia com maquinarias, das vibrações e ruídos.

Quanto aos impactes gerados pela produção de resíduos, estes podem ser minimizados, se houver a perspetiva de reutilização ou reciclagem, permitindo atenuar as necessidades de vazadouros e conduzindo a uma menor procura de novos materiais (Pinheiro, 2006).

Caso contrário, se os materiais de demolição forem enviados diretamente para aterro, além do impacte gerado pelos processos de demolição e transporte dos materiais para o local de deposição, ainda causam danos ambientais por poderem conter substâncias perigosas (Mateus, 2009).

3.3. Indicadores Ambientais dos materiais

Na indústria da construção, é importante promover a sustentabilidade ambiental através da redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), e portanto, deve-se selecionar os materiais de construção tendo em conta determinados critérios, que serão enunciados nesta secção:

- energia incorporada nos materiais de construção;
- impacte ecológico incorporado;
- potencial de reutilização e reciclagem;
- toxicidade do material.

3.3.1 Energia incorporada nos materiais de construção

Como já referido, no contexto do ambiente construído, a energia incorporada nos materiais corresponde à quantidade de energia que é necessária para produzir um

edifício, englobando as fases de extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais, aplicação em obra, manutenção, demolição e remoção.

Nesta perspetiva, o tipo de material, quantidade, método construtivo e a utilização do edifício ao longo da sua vida útil, são fatores essenciais na análise da energia incorporada num edifício.

Neste subcapítulo pretende-se analisar quais os principais consumos de energia que podem ocorrer em cada uma das fases que englobam uma construção como aquela que se aborda nesta dissertação – demolição do interior do edifício com manutenção de fachadas (**Fig. 3.3**), antes de realizar uma nova construção.

Os consumos de energia a considerar dizem respeito às fases que se encontram na figura que se segue.

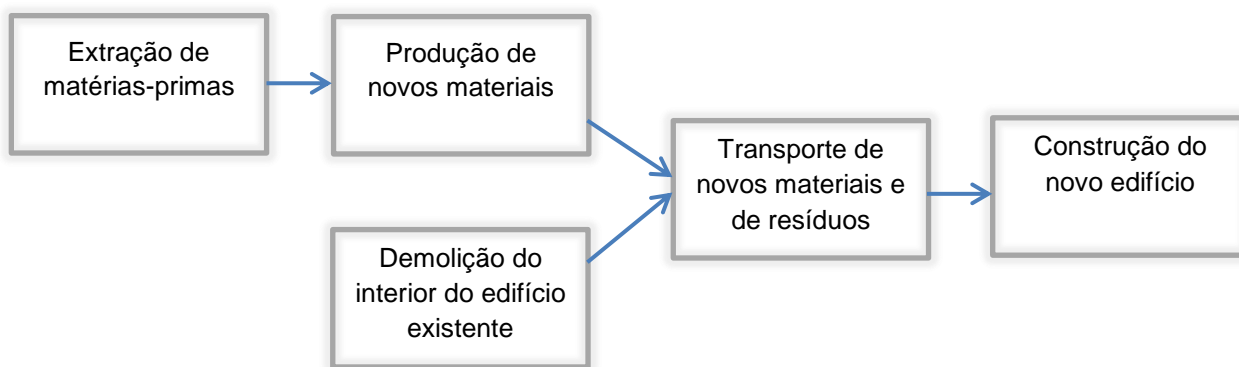


Figura 3.3 - Fases consideradas numa nova construção com manutenção de fachadas

3.3.1.1 Energia de extração de matérias-primas

A energia de extração de matérias-primas pode ser considerada como a energia necessária para retirar a matéria-prima em sua forma bruta da natureza. Esta energia engloba todos os processos de extração das matérias-primas, ou seja, todos os equipamentos utilizados (como por exemplo as perfuradoras, pás carregadoras, camiões, entre outros).

Por isso, cada componente de um edifício apresentará uma cadeia de produção específica com energia de extração diferente de outros componentes, pois as matérias-primas dos materiais de construção e o seu modo de extração são distintas (Neto, 2011).

Vejamos, a título de exemplo, a extração do cimento, um dos materiais mais utilizados na construção de edifícios na produção de betão, em que as matérias-primas são extraídas de pedreiras através de meios mecânicos ou explosivos, e portanto, a energia incorporada de extração das matérias-primas dependerá da metodologia utilizada (SECIL).

3.3.1.2 Energia de transformação e produção

A produção de materiais, em termos de consumos energéticos, é das fases da construção de um edifício que mais consome energia. Relembrando novamente o cimento, este é um dos materiais que na sua produção consome grandes quantidades de combustíveis fósseis, sendo por isso também, um dos que mais contribui para as emissões de gases de efeito de estufa (Mateus, 2009).

Murta *et al.* (2010) referem que existe uma clara diferença entre um grupo de materiais que necessita de maior quantidade de consumo de energia nos processos de produção, do que outros que recorrem a pequenas quantidades. São eles, o aço e o cimento os materiais que consomem grandes quantidades de energia na sua produção, enquanto a terra e a pedra necessitam de menos energia.

Torgal & Jalali (2010) defendem que os consumos associados à produção dos materiais dependem, fundamentalmente, da especificidade de cada processo produtivo e variam de país para país.

3.3.1.3 Energia de demolição

Nesta fase do ciclo de vida de uma construção, a demolição deve compreender a demolição propriamente dita, bem como, o destino final do material demolido, seja para reutilizar, reciclar ou simplesmente depositar em aterro.

A energia de demolição está associada ao consumo relativo ao uso de equipamentos (retroescavadoras, martelos pneumáticos, tratores, entre outros) utilizados para demolir o edifício (Tavares, 2006).

Como a demolição de edificações é atualmente responsável pela produção de uma parcela significativa de todo o lixo gerado pelas cidades, surge a noção de desconstrução ou demolição seletiva.

Para Leonor (2011), a desconstrução, ou demolição seletiva, é uma metodologia de demolição voltada para a separação e recuperação de materiais e componentes para reutilização e reciclagem.

Em qualquer das situações, Tavares (2006) confirma que existe consumo de energia na demolição e transporte de resíduos para aterro ou no reaproveitamento dos materiais provenientes da demolição.

3.3.1.4 Energia de transporte de materiais

O transporte de materiais é um fator relevante, pois encontra-se em todas as fases do ciclo de vida energético das edificações.

Esta componente do consumo de energia deve considerar o transporte, neste caso, de:

- matérias-primas até às fábricas;

- materiais de construção das fábricas até ao local da obra;
- resíduos ou materiais resultantes da demolição.

Não esquecendo os equipamentos utilizados na obra (Tavares, 2006).

Segundo Berge (2009), a energia no transporte dos materiais, depende essencialmente da distância percorrida, tipo de combustível e meio de transporte, já antes Mateus (2006) tinha defendido que para reduzir a parcela correspondente à energia consumida no transporte de materiais de construção, deve-se preferir a utilização de materiais produzidos na região, pois a distância percorrida será menor.

3.3.1.5 Energia de construção

Esta fase corresponde à aplicação de materiais em obra, e por isso, os consumos de energia estão associados aos equipamentos e máquinas utilizadas nos diversos processos de construção de um edifício, desde escavações e preparação do terreno, aplicação de betão em obra, iluminação, entre outros (Adalberth, 1997).

3.3.1.6 Quantificação da energia incorporada nos materiais de construção

Para compreender e quantificar o parâmetro de energia incorporada, com vista a minimizar o consumo de energia dos edifícios, tornou-se necessário proceder à pesquisa sobre esta temática.

Verificou-se que existe escassez de informações, principalmente em Portugal.

Deste modo, importa conhecer as metodologias mais abordadas na quantificação da energia incorporada mesmo a corresponderem a estudos realizados a nível internacional.

Existem diversas metodologias para quantificar a energia incorporada, como já referido no ponto de estudos realizados sobre esta temática, nomeadamente, estudos de Hammond & Jones (2008), Alcorn (2003) e Adalberth (1997). Estas metodologias têm como principal objetivo a quantificação da energia incorporada, mas através de diferentes abordagens.

Se Hammond & Jones (2008) e Alcorn (2003) quantificam a energia incorporada tendo em conta a abordagem *cradle to gate* (da extração de matérias-primas até à saída da fábrica), já Adalberth (1997), como anteriormente enunciado, apresenta equações para cada uma das fases da construção do edifício, ou seja, num cenário *cradle to grave* (da extração de matérias-primas até à fase de demolição ou deposição).

Então, no presente trabalho, analisa-se, de forma mais aprofundada, o método de Adalberth (1997), pois é possível determinar a energia incorporada das fases que se pretende considerar.

Neste subcapítulo apresentam-se as equações, considerações e dados necessários para aplicar esta metodologia de cálculo de energia incorporada que serão utilizados no caso de estudo, considerando um cenário de *cradle to site*, que engloba a energia utilizada nas fases que se seguem:

- extração de matérias-primas;
- produção ou transformação de materiais;
- transporte;
- aplicação de materiais em obra.

Incluindo, nesta abordagem, a demolição do edifício existente. Desta forma, apresentam-se, de seguida, as fases admitidas com as respetivas equações e dados necessários para quantificar os consumos de energia decorrentes nas mesmas.

3.3.1.6.1 Fase de produção de materiais

A energia necessária à produção de materiais para uma nova construção compreende a energia primária, isto é, energia necessária para extração de matérias-primas e a produção do material, incluindo também, quando necessário, o transporte desde o local de extração até ao local de fabrico de materiais.

A energia de produção de materiais pode ser determinada através da quantidade de material necessário, em toneladas, das necessidades energéticas de cada material, em kWh/ton (**Quadro 3.1**), e ainda pode ser incluída uma parcela relativa aos desperdícios resultantes.

Deste modo, a quantificação da energia necessária para a produção dos materiais, pode ser obtida através da seguinte equação (Adalberth, 1997):

Equação 2

$$Q_{transf} = \sum_{i=1}^n m_i \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \times M_i$$

Sendo que:

Q_{transf} – Energia incorporada associada à produção e transformação de materiais (kWh);

n – Número de unidades a considerar;

i – Material em consideração;

m_i – Quantidade de material (toneladas);

w_i – Percentagem de resíduos ou desperdícios de material (%);

M_i – Energia necessária à transformação de material (kWh/ton).

A parcela referente à energia necessária à transformação de materiais, M_i , pode ser obtida a partir de diversas bases de dados, pelo que neste caso, apresentam-se no **Quadro 3.1** valores de energia necessária ao fabrico de alguns materiais de construção de um outro autor que não o citado no estudo de Adalberth (1997), pois neste estudo utilizam dados do ano de 1993, e estes que agora se enunciam, apesar se não serem muito atuais, são mais recentes do que aqueles (1997).

Quadro 3.1 - Energia necessária ao fabrico de alguns materiais de construção
(Borer, 1997 citado em Bento, 2007)

Materiais	M_i (kWh/ton)
Tijolo comum	860
Telhas cerâmicas	800
Ardósia (local)	200
Betão	360
Cimento	2200
Gesso laminado	890
Aço	13200
Madeira (local)	200
Vidro	9200
Plástico	45000

3.3.1.6.2 Fase de demolição

As necessidades energéticas associadas à fase de demolição, encontram-se principalmente relacionadas com a utilização de equipamentos de demolição (**Quadro 3.2**). Assim, a energia necessária para a fase de demolição, determina-se da seguinte forma (Adalberth, 1997):

Equação 3

$$Q_{dem} = \sum_{j=1}^n p_j \times P_j$$

Sendo que:

Q_{dem} – Energia incorporada associada aos processos de demolição (kWh);

n – Número de processos a considerar;

j – Tipo de processo em consideração;

p_j – Área demolida (m^2);

P_j – Energia necessária ao processo de demolição (kWh/ m^2).

Quadro 3.2 - Componente energética dos diferentes processos tipicamente utilizados na demolição de edifícios (Andersen *et al*, 1993 citado em Adalberth, 1997)

Tipo de processo	Energia necessária ao processo (Pj) (kWh/ton)
Operação de equipamentos de demolição	2 kWh/m ²

3.3.1.6.3 Fase de transporte de materiais

Neste estudo, a energia necessária para transporte dos materiais para construção e de demolição podem ser determinados da mesma forma.

Esta fase compreende fundamentalmente o transporte desde o fabricante até o local da obra e o transporte de materiais de demolição a vazadouro. Assim, a energia incorporada associada ao transporte, Q_{transp} , pode ser expressa através da seguinte equação (Adalberth, 1997):

Equação 4

$$Q_{transp} = \sum_{i=1}^n m_i \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \times d_i \times T_c$$

Sendo que:

Q_{transp} – Energia incorporada associada ao transporte de materiais (kWh);

n – Número de unidades a transportar;

i – Material em consideração;

m_i – Quantidade de material (toneladas);

w_i – Percentagem de resíduos ou desperdícios de material (%);

d_i – Distância total de transporte (km);

T_c – Fator de eficiência energética do meio de transporte utilizado (kWh/ton km).

O **Quadro 3.3** apresenta alguns valores da energia consumida para diferentes meios de transporte enunciados por Berge (2009), autor também não citado no estudo de Adalberth (1997) e com dados mais recentes.

Quadro 3.3 - Energia consumida em transporte
(adaptado de Berge, 2009)

Meio de Transporte	T_c (kWh/ton km)
Avião	9,17 - 10,00
Rodovia	0,22 - 0,61
Ferrovia	0,17 - 0,25
Barco	0,08 - 0,25

3.3.1.6.4 Fase de construção

Como já referido anteriormente, a energia consumida na fase de construção está relacionada com os processos de construção do edifício, que inclui as necessidades energéticas dos equipamentos e máquinas utilizadas na obra, e ainda os consumos energéticos associados às operações do estaleiro (iluminação) (Adalberth, 1997).

O **Quadro 3.4** apresenta valores de referência relativamente à componente energética dos diferentes processos utilizados na construção de edifícios.

Quadro 3.4 - Componente energética dos diferentes processos tipicamente utilizados na construção de edifícios (Andersen *et al*, 1993 citado em Adalberth, 1997)

Tipo de processo	Energia necessária ao processo (P _j) (kWh/ton, kWh/m ² , kWh/m ³)
Betão aplicado na obra	44 kWh/ton
Escavação e preparação do terreno	32 kWh/m ³
Operação de gruas	2 kWh/m ²
Iluminação	26 kWh/m ²

A energia total de construção, Q_{const} , pode ser determinada através da equação que se segue:

Equação 5

$$Q_{const} = \sum_{j=1}^n p_j \times P_j$$

Sendo que,

Q_{const} – Energia incorporada associada aos processos de construção (kWh);

n – Número de processos a considerar;

j – Tipo de processo em consideração;

p_j – Quantidade (toneladas, m² ou m³);

P_j – Energia necessária ao processo de construção (kWh/ton, kWh/m² ou kWh/m³).

3.3.1.6.5 Energia incorporada total

Deste modo, após calcular a energia necessária das fases acima mencionadas, a energia incorporada total deste caso em estudo engloba os consumos energéticos de cada uma destas fases (**Fig. 3.4**):

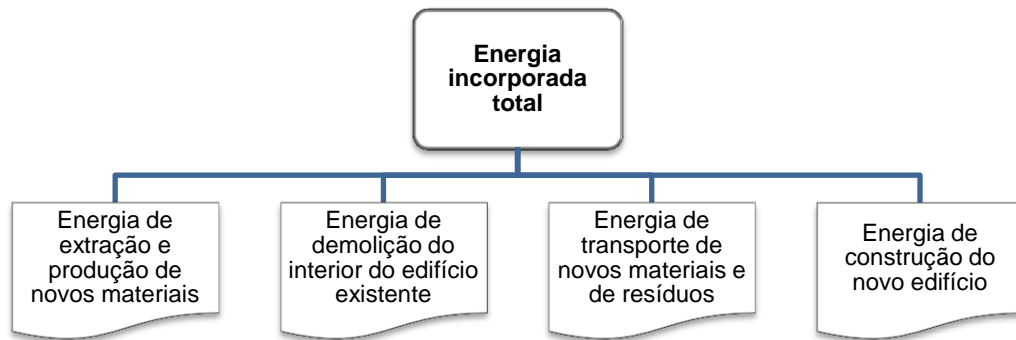


Figura 3.4 - Energia incorporada total numa nova construção com manutenção de fachadas

Então, e tendo em consideração o método de Adalberth (1997), o cálculo da energia total corresponde à soma da energia necessária em todas estas fases, como mostra a equação que se segue, dado em kWh (Adalberth, 1997):

Equação 6

$$Q_{incorp\ total} = Q_{transf} + Q_{dem} + Q_{transp} + Q_{const}$$

em que:

$Q_{incorp\ total}$ – Energia incorporada total;

Q_{transf} – Energia incorporada associada à produção e transformação de materiais;

Q_{dem} – Energia incorporada associada à demolição do edifício;

Q_{transp} – Energia incorporada associada ao transporte de materiais;

Q_{const} – Energia incorporada associada aos processos de construção.

3.3.2 Impacte Ecológico Incorporado

Segundo Mateus (2006), o impacte ecológico incorporado reflete o impacte ambiental do material ou elemento de construção, desde a extração das matérias-primas até à sua aplicação no edifício.

Como indicador deste impacte, normalmente costuma-se utilizar as emissões de dióxido de carbono. Este indicador denomina-se por **Potencial de Aquecimento Global** (PAG) que reflete o impacte desse material ou elemento de construção em termos de emissões de dióxido de carbono, tido como um dos principais responsáveis, de entre os GEE, pelas alterações climáticas. Este indicador pode ser expresso em kg

equivalentes de CO₂, que segundo Carmody *et al* (2007), pode ser igual a kg CO₂ + (kg CH₄ x 23) + (kg N₂O x 296) para um horizonte de tempo de 100 anos.

Numa análise a diversos estudos no que respeita à quantificação do teor de emissão de gases de efeito de estufa (convertido em teor equivalente de emissão de CO₂), refere-se o estudo de Hammond & Jones (2008), que propõem alguns valores unitários de referência de emissões de CO₂ para diferentes materiais de construção, que se podem visualizar no **Quadro 3.5**.

Quadro 3.5 - Teor de emissão de CO₂ em alguns materiais de construção (kg CO₂/kg)
(adaptado de Hammond & Jones, 2008)

Materiais	Hammond & Jones 2008
Aço	0,43
Argamassas	0,21
Azulejos	0,65
Betão	0,13
Cimento	0,83
Madeira	0,46
Tijolo	0,22
Vidro	0,85

A quantificação da emissão de CO₂ pode ser feita através do produto das quantidades de materiais de construção utilizados pelos valores unitários de emissões de CO₂ recolhidos em bases de dados.

Deste modo, e considerando a área total bruta de uma construção, pode-se determinar um valor aproximado das emissões de CO₂ que são produzidas num edifício (kg CO₂/m²).

3.3.3 Potencial de Reutilização e Reciclagem

Como já foi referido, é de extrema importância a capacidade de um material ou produto poder ser reutilizado e/ou reciclado, por isso, a seleção dos materiais deve ter em conta este critério.

Para que se cumpram objetivos essenciais de redução de impacto ambiental, na seleção dos materiais de construção deve privilegiar-se os que possuem maior potencial de reutilização em detrimento dos de reciclagem, uma vez que, a reutilização direta consome menor quantidade de energia, sendo igualmente importante realçar que quanto mais vezes o material é reutilizado, menor é o custo da sua energia incorporada, pois este acaba por ser amortizado. Sabe-se que a maior parte dos materiais de construção podem ser reciclados. No entanto, é necessário que na fase

de demolição do edifício se proceda adequadamente à separação e recuperação dos materiais.

O **Quadro 3.6** mostra algumas das características e potencial de reutilização e reciclagem de alguns materiais mais correntes na construção, nomeadamente, a madeira, o metal (aço e alumínio), o plástico, o vidro, o betão e os produtos cerâmicos construtivos (telhas e tijolos) (Augusto, 2011).

Quadro 3.6 - Características e Potencial de Reutilização e Reciclagem (PRR) de alguns materiais de construção (adaptado de Mateus, 2006)

Material	Caraterísticas	PRR
Madeira	Alto potencial de reutilização desde que estejam em bom estado de conservação. Exemplos: portas e janelas, elementos estruturais, entre outros.	Alto
Metal	Os elementos de construção em aço e em alumínio são potencialmente recicláveis, sendo possível a obtenção destes materiais a partir de material 100% reciclado. Com o aço pode-se reduzir entre 50% a 70% do consumo energético e emissão de GEE e com a reciclagem do alumínio, esse valor, pode diminuir em cerca de 90%.	Alto
Plásticos	A maior parte dos plásticos podem ser granulados e reciclados na produção de novos produtos de plástico. No entanto, as taxas atuais de reciclagem são bastante baixas devido principalmente à elevada variedade de plásticos e à dificuldade que existe em os separar.	Médio
Vidro	Atualmente, a reciclagem do vidro é pouco utilizada mas os produtos de vidro podem ser reciclados se devidamente separados e não contaminados. Em que, o vidro da construção deve ser separado do vidro proveniente do lixo doméstico (garrafas, etc).	Médio
Betão e Produtos Cerâmicos	Os elementos de betão e os produtos cerâmicos, como tijolos e telhas, são dificilmente reutilizados ou reciclados. Tanto os elementos de betão como os produtos cerâmicos depois de britados podem ser reciclados em agregados para fabrico de betão, ou utilizados, por exemplo, como preenchimento de soleiras de edifícios ou como bases e sub-bases de pavimentação.	Baixo

3.3.4 Toxicidade do material

Se as construções dos nossos antepassados recorriam a materiais naturais, atualmente, as construções apresentam inúmeras combinações de químicos, que ao serem libertados para o ar interior das habitações podem provocar diversos problemas de saúde (Torgal & Jalali, 2010).

Diz-se que um material de construção é tóxico se exercer um efeito nocivo sobre o ser humano ou sobre o ecossistema que o rodeia. Por isso, cada material, produto ou componente a utilizar num edifício deve ser devidamente analisado, em especial, as suas especificações técnicas e o seu processo de fabrico, com vista à identificação de compostos químicos que sejam tóxicos.

Na produção de materiais ou componentes de construção, cada vez se recorre mais a produtos químicos, em que, a maior parte desses químicos por serem recentes, podem ser desconhecidos os seus efeitos sobre a saúde das pessoas, e ainda mais grave, são os efeitos cumulativos e interativos da exposição aos compostos químicos, pois a longo prazo existem doenças que se podem manifestar (Mateus, 2006).

John *et al.* (2007) afirmam que a mitigação destes efeitos pode ser conseguida através do estímulo ao consumo de produtos com baixa emissão de substâncias tóxicas ao longo do ciclo de vida de uma construção. No entanto, esta tarefa não se avizinha de fácil execução, pois a quantificação das emissões nem sempre é possível, e por isso, restará proceder a estimativas e caracterizações qualitativas.

Mateus (2006) salienta que é da responsabilidade dos projetistas a seleção de materiais e componentes de baixa toxicidade, de modo a evitar que a sua utilização afete a saúde e produtividade dos habitantes de um edifício, e das pessoas responsáveis pela construção e manutenção do mesmo. E, afirma também que, devem ser analisadas as fichas técnicas dos diversos materiais de construção, de forma a reduzir-se a integração no edifício de substâncias tóxicas, que se encontrem nos materiais de construção, e que podem afetar a qualidade de vida dos ocupantes.

CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

4.1 Objetivo

Neste capítulo, pretende-se caracterizar uma solução de demolição do interior de um edifício antigo com manutenção de fachadas e a construção de uma nova estrutura, em termos de materiais de construção aplicados. O objetivo deste estudo consiste em quantificar a sua energia incorporada total e respetivas emissões de CO₂, bem como os respetivos custos associados. E ainda, desenvolver uma análise de sensibilidade, atribuindo duas variantes ao projeto.

4.2 Metodologia

A metodologia adotada para proceder à determinação da energia incorporada nos materiais da construção em estudo inspira-se, como já mencionado, em Adalberth (1997), tendo em conta a abordagem *cradle to site* (desde a extração de matérias-primas, incluída na fase de produção, até à aplicação dos materiais em obra), e ainda inclui-se a fase de demolição do interior do edifício existente. Na **Fig. 4.1** encontra-se representado as fases que serão consideradas neste caso prático e a ordem como serão analisadas em termos de energia incorporada.

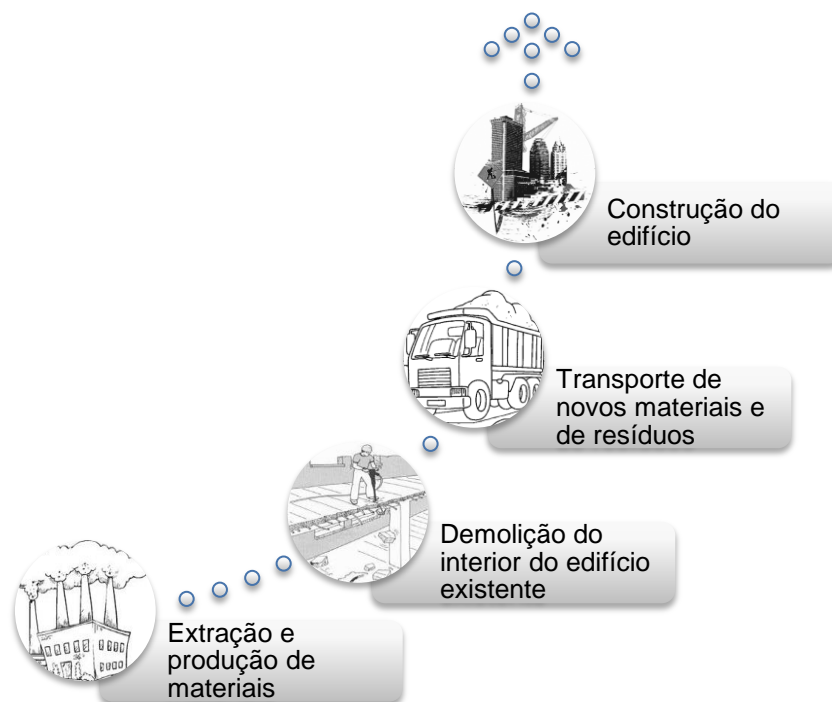


Figura 4.1 - Fluxograma das fases a considerar no estudo

A quantificação das emissões de CO₂ é realizada através dos valores de carbono incorporado nos materiais do inventário de Hammond & Jones (2008) tendo em conta a abordagem *cradle to gate*.

No que se refere aos custos ambientais, estes são determinados a partir das emissões totais de CO₂ de cada uma das soluções. Já os custos de construção são obtidos com o recurso às fichas de rendimento do LNEC e às fichas de Estruturas de Custos Associados a Ações de Conservação e Reabilitação (ECAACR).

Assim, a sequência de etapas a desenvolver no caso de estudo encontram-se descritas no **Quadro 4.1**.

Quadro 4.1 – Sequência de etapas a desenvolver no caso de estudo

Etapas	Descrição
1	Levantamento das áreas brutas
2	Levantamento dos materiais de construção utilizados
3	Estimativa das quantidades (em massa e/ou volume) de materiais de construção utilizados
4	Recolha de dados da massa volúmica dos materiais de construção em estudo
5	Cálculos das necessidades energéticas para as fases consideradas no estudo em GJ
6	Determinação da energia incorporada total por m ² (GJ/ m ²)
7	Determinação das emissões de CO ₂ por material de construção e totais por m ² do projeto
8	Análise de sensibilidade do projeto com a introdução de variantes
9	Determinação do custo total de emissões de CO ₂ (em euros) – Custo ambiental
10	Estimativa orçamental – Custo de Construção
11	Verificação das alterações orçamentais

4.3 Descrição do projeto

O edifício em estudo, Heritage Avenida Liberdade Hotel (**Fig. 4.2**), trata-se de um projeto de demolição do interior do edifício com manutenção de fachadas, e a construção de uma nova estrutura de um edifício de gaveto, que se encontra inserido no centro histórico da cidade de Lisboa. A edificação localiza-se na principal avenida da cidade – Avenida da Liberdade n.º 28.



Figura 4.2 - Heritage Av. Liberdade Hotel

O imóvel em causa, à data do início da construção, denotava falta de obras de conservação e apresentava uma construção típica da época em que se insere (século XVIII) com utilização destinada a escritórios e comércio.

Após diversas vistorias ao local, o Dono de Obra decidiu realizar a alteração de utilização de escritórios para uma unidade hoteleira. Este projeto compreendeu a demolição total do interior do edifício, e a sua reconstrução com manutenção de fachadas. Os espaços foram distribuídos por 8 pisos elevados destinados ao alojamento de pessoas e 1 cave (piso -1), num total de 2723,6 m² de área bruta (**Quadro 4.2**). Os volumes e áreas a considerar no projeto encontram-se no **Quadro 4.3**.

Quadro 4.2 - Área bruta por piso

Pisos	Área Bruta (m ²)
Piso -1	332,2
Piso 0	326,3
Piso da Mezzanine	261
Piso 1	329,1
Piso 2	323,6
Piso 3	321,8
Piso 4	324,9
Piso 5	276,8
Piso 6	227,9

Quadro 4.3 - Volumes e áreas a considerar no projeto

Volumes e áreas	Quantidades
Volume de escavações	1892,3 m ³
Área de Demolições	2341 m ²
Área Total de Construção	2723,6 m ²
Área de Implantação	324,5 m ²

4.4 Descrição da construção

A solução proposta consiste na substituição da estrutura interior de madeira com paredes de tabique por uma estrutura de betão armado e paredes de enchimento. Nesta intervenção, procurou-se conservar alguns dos elementos que caracterizam a época pombalina:

- todos os elementos da fachada setecentista (cantarias, gradeamentos das varandas, entre outros);
- azulejos pombalinos do interior (removidos, restaurados e recolocados);
- portadas de madeira (removidas, restauradas e recolocadas).

4.4.1 Fundações

Como solução, o projeto de estabilidade do edifício apresenta fundações indiretas por microestacas em betão armado.

A execução do pavimento térreo inclui laje de betão, camada de brita, tela de impermeabilização e massame armado, assentes em terreno devidamente compactado.

4.4.2 Estrutura

A solução para a superestrutura traduz-se na execução de uma estrutura resistente de betão armado. A nova estrutura e a cobertura são constituídas por lajes fungiformes, apoiadas por elementos resistentes em betão armado (vigas, pilares e paredes). A ligação entre pisos é efetuada por escadas e por elevadores, sendo as lajes de escadas e os núcleos de elevadores também de betão armado.

4.4.3 Acabamentos

Em termos de alvenaria, nas paredes exteriores a construir de novo (parede de fachada tardoz) e nas paredes interiores utilizou-se alvenaria de tijolo cerâmico, sendo que as paredes exteriores são de alvenaria dupla incluindo isolamento

térmico com poliestireno extrudido com 40 mm de espessura. Quanto às paredes divisórias recorreu-se a sistemas de gesso laminado.

No que respeita à cobertura, esta encontra-se revestida com chapas de zinco.

4.4.4 Materiais usados na construção

Dos materiais aplicados, teve-se em conta os principais materiais que foram necessários para a execução do projeto e que serão alvo de estudo, isto é, nesta análise não se teve em consideração todas as atividades desenvolvidas no projeto, como por exemplo, cofragens, execução de isolamentos térmicos e acústicos em divisórias interiores e execução de rebocos.

No entanto, apesar de alguns dos materiais não terem sido considerados, admite-se que os enunciados neste trabalho permitem identificar os que apresentam maior e menor consumo energético.

Além dos materiais referidos, foram aplicados outros, tais como:

- perfis HEB 160 em estrutura metálica para contenção de fachadas;
- madeira como revestimento dos pisos;
- azulejos nos pavimentos e paredes;
- caixilharia em PVC (policloreto de vinil) com vidro duplo;
- isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS).

Deste modo, no **Quadro 4.4** apresentam-se os materiais de construção considerados neste estudo e uma estimativa das respetivas quantidades.

Quadro 4.4 - Quantidades de materiais de construção

Tipo de Materiais		Quantidade	Unidade
Contenção Fachada	Perfis metálicos - HEB 160	61056,2	kg
Fundações	Betão em microestacas	129600	kg
	Aço em microestacas	7193,5	kg
Estrutura	Betão	1013,4	m ³
	Aço	143870,4	kg
Alvenarias e Divisórias	Tijolo 30x20x7	126,2	m ²
	Tijolo 30x20x11	636,7	m ²
	Tijolo 30x20x15	434	m ²
	Dupla - Tijolo 30x20x11+30X20X11	327,6	m ²
	Gesso laminado	1852,9	m ²
	Poliestireno extrudido	6,6	m ³
Acabamentos	Madeira	1131,9	m ²
	Azulejos	1898,3	m ²
	Cantarias	242,7	m ²
	Caixilharia em PVC	19,2	m ³
	Vidro	2,6	m ³
Cobertura	Chapas de zinco	348,5	m ²

Para determinar as quantidades de materiais utilizadas apenas em massa (kg), que se apresentam no **Quadro 4.5**, recorreu-se às Normas Portuguesas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – Eurocódigo 1 – Ações em estruturas, Parte 1-1, para identificar as massas volúmicas (kg/m^3) dos materiais de construção utilizados e também às tabelas técnicas para a massa por m^2 (kg/m^2) de revestimentos e coberturas (EN 1991-1-1, 2009; Farinha & Reis, 1974).

Quadro 4.5 - Quantidades de materiais e respetivas massas

Tipo de Materiais	Área (m^2)	Volume (m^3)	Fator		Massa (kg)	Massa (ton)
			kg/m^2	kg/m^3		
Perfis metálicos					61056,2	61,1
Betão em microestacas					129600	129,6
Aço em microestacas					7193,5	7,2
Betão		1013,4		2400	2432040	2432
Aço					143870,4	143,9
Tijolo 30x20x7	126,2		140		17668	17,7
Tijolo 30x20x11	636,7		180		114604,2	114,6
Tijolo 30x20x15	434		210		91137,9	91,1
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	327,6		260		85176	85,2
Gesso laminado	1852,9		50		92645	92,6
Poliestireno extrudido		6,6		30	196,5	0,2
Madeira	1131,9		20		22638	22,6
Azulejos	1898,3		60		113898	113,9
Cantarias	242,7		120		29126,4	29,1
Caixilharia em PVC		19,2		590	11339,8	11,3
Vidro		2,6		2500	6400	6,4
Chapas de zinco	348,5		35		12197,5	12,2

4.5 Cálculo da energia incorporada total da construção do edifício

Após a análise dos materiais e processos construtivos utilizados, a energia incorporada total compreende os consumos energéticos das seguintes fases do ciclo de vida dos materiais:

- produção de materiais, incluindo a extração de matérias-primas;
- demolição do interior do edifício existente;
- transporte de novos materiais e de resíduos provenientes da demolição;
- processos de construção do edifício.

4.5.1 Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais

Nesta fase apresentam-se as seguintes considerações: os perfis metálicos são reutilizados 10 vezes, o que corresponde, neste caso, a admitir 10% da energia do fabrico dos perfis para utilização nesta obra ($M_i = 1320$ kWh/ton), existe uma percentagem média de desperdícios resultantes destes processos de 10% para cada material ($w_i = 10\%$) e as necessidades energéticas de cada um dos materiais foram consideradas segundo a tabela de Borer, citado em Bento (2007).

Aplicando a **Equação 2**, o cálculo do consumo energético para esta fase encontra-se no **Quadro 4.6**.

Quadro 4.6 - Necessidades energéticas para produção de materiais

Tipo de Materiais	m_i (ton)	w_i (%)	M_i (kWh/ton)	Q_{transf} (kWh)
Perfis metálicos	61,1	10	1320	88653,6
Betão em microestacas	129,6	10	2200	313632
Aço em microestacas	7,2	10	13200	104449,9
Betão	2432	10	360	963087,8
Aço	143,9	10	13200	2088998,2
Tijolo 30x20x7	17,7	10	860	16713,9
Tijolo 30x20x11	114,6	10	860	108415,6
Tijolo 30x20x15	91,1	10	860	86216,5
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	85,2	10	860	80576,5
Gesso laminado	92,6	10	890	90699,5
Poliestireno extrudido	0,2	10	45000	9726,8
Madeira	22,6	10	200	4980,4
Azulejos	113,9	10	800	100230,2
Cantarias	29,1	10	200	6407,8
Caixilharia em PVC	11,3	10	45000	561320,1
Vidro	6,4	10	9200	64768
Zinco	12,2	10	15000	201258,8
Consumo total de energia para produção				4890135,5 kWh
				17604,3 GJ

O consumo energético associado à produção dos materiais utilizados é de **17604,3 GJ**, utilizando o fator 277,78 para a conversão de kWh para GJ, que de acordo com informação de conversores de energia, 1 GJ corresponde a aproximadamente 277,78 kWh (ANEEL - Agência Nacional de Energia Eléctrica).

4.5.2 Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício

Neste cálculo, considera-se a área de demolição do interior do edifício (antes da nova construção) que foi de 2341 m². Para o cálculo da energia necessária ao processo de demolição considera-se a energia consumida em equipamentos de demolição, considerando este consumo de 2 kWh/ton. De acordo com Adalberth (1997), a energia de demolição pode ser determinada recorrendo à **Equação 3**, e assim, o consumo de energia para demolição apresenta-se no **Quadro 4.7**.

Quadro 4.7 - Necessidades energéticas para demolição de edifício

Processos utilizados	P _j (ton, m ³ , m ²)	P _j (kWh/ton, kWh/m ³ , kWh/m ²)	Q _{dem} (kWh)
Operação de equipamentos de demolição	2341 m ²	2 kWh/m ²	4682
Consumo de energia para demolição			4682 kWh
			16,9 GJ

Assim, para os trabalhos de demolição do interior do edifício existente, é necessário um consumo energético de **16,9 GJ**.

4.5.3 Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais

Aplicando a **Equação 4**, na determinação das necessidades energéticas associadas ao transporte apresentam-se as seguintes considerações:

- transporte de materiais desde as fábricas até ao local da obra;
- transporte de resíduos a vazadouro provenientes de demolições, escavações e abertura de roços;
- meio de transporte utilizado para transporte de materiais é o camião, e portanto, de acordo com os valores propostos por Berge (2009), admite-se um fator de eficiência energética igual a 0,3 kWh/ton km;
- fabricantes de materiais de construção localizam-se em diversos pontos, mesmo fora do país.
- não se contabilizam desperdícios no transporte de materiais – w_i = 0%.

O cálculo do consumo energético associado ao transporte de cada material utilizado encontra-se no **Quadro 4.8**.

Quadro 4.8 - Necessidades energéticas para transporte de materiais

Tipo de Materiais	m_i (ton)	d_i (km)	T_c (kWh/ton km)	Q_{transp} (kWh)
Entulho	5106,6	25	0,3	38299,5
Perfis metálicos	61,1	250	0,3	4579,2
Betão em microestacas	129,6	30	0,3	1166,4
Aço em microestacas	7,2	250	0,3	539,5
Betão	2432	30	0,3	21888,4
Aço	143,9	250	0,3	10790,3
Tijolo 30x20x7	17,7	170	0,3	901,1
Tijolo 30x20x11	114,6	170	0,3	5844,8
Tijolo 30x20x15	91,1	170	0,3	4648
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	85,2	170	0,3	4334
Gesso laminado	92,6	250	0,3	6948,4
Poliestireno extrudido	0,2	250	0,3	14,7
Madeira	22,6	5	0,3	34
Azulejos	113,9	30	0,3	1025,1
Cantarias	29,1	20	0,3	174,8
Caixilharia em PVC	11,3	250	0,3	850,5
Vidro	6,4	200	0,3	384
Zinco	12,2	250	0,3	914,8
Consumo total de energia para transporte				103347,4 kWh
				372 GJ

O consumo energético associado ao transporte de novos materiais e de entulhos é de **372 GJ**.

4.5.4 Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício

Neste cálculo admite-se que as principais operações envolvidas na construção são: escavação e preparação do terreno, aplicação de betão em obra, equipamentos necessários em obra, iluminação do estaleiro e execução de alvenarias e acabamentos.

No que respeita à utilização e consumo de equipamentos de obra, Adalberth (1997) propõe que só a operação de guias consome 2 kWh/m². Como na construção de um edifício operam diversos equipamentos, então, admite-se que as necessidades energéticas para os mesmos são de 6 kWh/m².

Quanto à área de operação dos equipamentos e das necessidades do estaleiro (por exemplo: iluminação) considera-se que, dadas as limitações espaciais deste, os equipamentos e as atividades decorrentes no estaleiro estariam condicionados à área de implantação do edifício (324,5 m²).

Nos processos de execução de alvenarias e acabamentos, consideram-se 3377,4 m² (401,2 ton) de alvenarias de tijolo e de gesso laminado e 3030,2 m²

(136,5 ton) de acabamentos (revestimentos com madeiras e azulejos), correspondente a um total de 537,8 ton. Para a realização de atividades de alvenarias e acabamentos admite-se que a necessidade energética é de 22 kWh/ton.

Saliento que, os valores dos coeficientes P_j não têm em consideração a variável tempo, pois apresentam-se sob a forma de kWh/ton, kWh/m³ ou kWh/m². Deste modo, admite-se que as necessidades energéticas dos processos de construção (P_j) considera o tempo necessário para a execução dos mesmos, isto é, no caso das necessidades do estaleiro (iluminação), considera-se o tempo de operacionalidade deste.

Aplicando a **Equação 5** e recorrendo aos dados das necessidades energéticas de cada um dos processos, é possível determinar a consumo de energia total nesta fase (**Quadro 4.9**).

Quadro 4.9 - Necessidades energéticas para construção do edifício

Processos utilizados	P_j (ton, m ³ , m ²)	P_j (kWh/ton, kWh/m ³ , kWh/m ²)	Q_{const} (kWh)
Escavação e preparação do terreno	1892,3 m ³	32 kWh/m ³	60553,6
Equipamentos	324,5 m ²	6 kWh/m ²	1946,9
Aplicação de betão em obra	2432 ton	44 kWh/ton	107009,8
Necessidades operacionais do estaleiro (iluminação)	324,5 m ²	26 kWh/m ²	8436,7
Alvenarias e acabamentos	537,8 ton	22 kWh/ton	13657,6
Consumo total de energia para construção			189777,9 kWh
			683,2 GJ

O consumo energético associado à construção do edifício é de **683,2 GJ**.

4.5.5 Energia incorporada total da obra

Após a quantificação do consumo de energia nas fases do ciclo de vida consideradas, a energia incorporada total da obra é obtida pela **Equação 6**, isto é, através do somatório dessas necessidades energéticas. De seguida, apresenta-se no **Quadro 4.10** um resumo da energia incorporada total.

Quadro 4.10 - Energia incorporada total da obra

Fases	Necessidades energéticas (GJ)
Extração e transformação de materiais	17604,3
Demolição do interior do edifício existente	16,9
Transporte de novos materiais e de entulhos	372
Construção do novo edifício	683,2
$Q_{incorporada}$ total	18676,4 GJ

Então, o valor total da energia incorporada respeitante à obra de construção com manutenção de fachada é de **18676,4 GJ**, o que corresponde a um valor unitário de 6,9 GJ/m².

4.6 Emissões de CO₂

Para a determinação das emissões de CO₂, procedeu-se ao levantamento de coeficientes de carbono incorporado dos materiais em estudo (kg de CO₂/kg de material) da base de dados de Hammond & Jones (2008), obtidos a partir da análise da abordagem *cradle to gate*.

Por isso, para o caso de estudo do presente trabalho, as emissões de CO₂ apenas são contabilizadas desde a extração de matéria-prima até à produção do material.

Para o cálculo do valor de emissões de CO₂ de cada material é necessário discriminar a quantidade de material utilizado e os coeficientes de emissões de CO₂, pois o valor das emissões de cada um dos materiais é obtido através da multiplicação destes dois parâmetros. Sendo que, o teor total resulta do somatório das emissões de CO₂ de cada um dos materiais aplicados.

Quadro 4.11 - Emissões de CO₂ totais da obra

Tipo de Materiais	Quantidade (kg)	Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ /kg)	Emissão de CO ₂ por material (kg CO ₂)
Perfis metálicos	61056,2	1,8	108069,5
Betão em microestacas	129600	0,1	16848
Aço em microestacas	7193,5	1,8	12732,5
Betão	2432040	0,1	316165,2
Aço	143870,4	1,8	254650,6
Tijolo 30x20x7	17668	0,2	3887
Tijolo 30x20x11	114604,2	0,2	25212,9
Tijolo 30x20x15	91137,9	0,2	20050,3
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	85176	0,2	18738,7
Gesso laminado	92645	0,4	35205,1
Poliestireno extrudido	196,5	2,7	530,6
Madeira	22638	0,5	10413,5
Azulejos	113898	0,7	74033,7
Cantarias	29126,4	0,1	1631,1
Caixilharia em PVC	11339,8	2,4	27328,9
Vidro	6400	0,9	5440
Zinco	12197,5	3,3	40373,7
Teor Total de emissões de CO₂			971311,3 kg CO₂
			971,3 ton CO₂

O valor total das emissões de CO₂ produzidas pela obra é de **971,3 ton de CO₂**.

4.7 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é uma técnica que consiste em fazer variar uma ou mais variáveis independentes e manter as outras constantes. Esta técnica é muito utilizada na análise de investimentos, sendo um fator importante a considerar na tomada de decisão de realizar ou não um investimento.

Nesta perspectiva, a análise de sensibilidade permite analisar o impacto provocado no projeto, pela variação de um parâmetro sobre a qual possa existir alguma incerteza, de modo a perceber qual a sensibilidade do projeto à variação de parâmetros e quais os que provocam maior impacto, por exemplo no valor obtido pelo investimento (Neves *et al.*, 2010).

Neste sentido, a análise de sensibilidade vai permitir verificar como parâmetros se alteram através de variações em dados relevantes, procurando conhecer a influência do conjunto de pressupostos que serão utilizados, nos critérios, até aqui tidos em conta, como a energia incorporada nos materiais, respetivas emissões CO₂, e conseqüentemente, os custos associados ao projeto.

Sabendo que, a energia incorporada num edifício depende de alguns fatores, (por exemplo, quantidade de material utilizado, transporte de material e quantidade de matéria reciclada), serão estudadas duas situações distintas relativamente ao edifício apresentado no caso de estudo. Os pressupostos a considerar nesta análise são:

- demolição total do edifício;
- reutilização de materiais.

De seguida, proceder-se-á ao estudo e análise de cada uma destas variantes no projeto, a partir da mesma metodologia utilizada na situação real (demolição do interior do edifício com manutenção de fachadas). Sendo que, a variante 1 corresponde à demolição total do edifício e a variante 2 à utilização de materiais reutilizados.

4.7.1 Variante 1 - Demolição total do edifício

Nesta variante do projeto, considera-se que o edifício é totalmente demolido, ou seja, não ocorreria manutenção de fachadas. Deste modo, a variante na situação real iria incidir nos seguintes cálculos:

- quantidade de material demolido;

- transporte de resíduos a vazadouro e dos materiais das fábricas para o local da obra;
- quantidade de material necessário à construção do edifício.

Neste pressuposto, não existindo manutenção de fachadas, não foram contabilizados materiais para contenção das mesmas (perfis metálicos). No entanto, como seria necessário executar paredes de fachada, então, o mapa de quantidades de materiais sofre alterações, no que respeita à quantidade de alvenaria dupla de tijolo 30x20x11 + 30x20x11 com isolamento térmico de poliestireno com 4 cm.

O **Quadro 4.12** mostra as quantidades de tijolo 30x20x11+30x20x11 e de isolamento térmico – poliestireno extrudido e respetivas massas desta variante.

Quadro 4.12 - Quantidade de tijolos e isolamento térmico e respetivas massas – Variante 1

Tipo de Materiais	Área (m ²)	Volume (m ³)	Fator		Massa (kg)	Massa (ton)
			kg/m ²	kg/m ³		
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	3082,8		260		801538,4	801,5
Poliestireno extrudido		61,7		30	1849,8	1,8

4.7.1.1 Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais

Nesta fase, considera-se que existiria produção de maior número de materiais, designadamente, tijolos de 30x20x11 e isolamento térmico.

A determinação das necessidades energéticas associadas à produção de cada material utilizado encontra-se no quadro que se segue.

Quadro 4.13 - Necessidades energéticas para produção de materiais

Tipo de Materiais	m _i (ton)	w _i (%)	M _i (kWh/ton)	Q _{transf} (kWh)
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	801,5	10	860	758255,3
Poliestireno extrudido	1,8	10	45000	91565,1
Restantes materiais				4711172,8
Consumo total de energia para produção				5560993,2 kWh
				20019,4 GJ

Portanto, a energia necessária à produção dos materiais utilizados nesta variante seria de **20019,4 GJ**.

4.7.1.2 Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício existente

Sabendo que as fachadas seriam demolidas e que teriam cerca de 1541,4 m², então, as áreas referentes à demolição do interior do edifício (2341 m²) e das fachadas, corresponderia a um total de 3882,4 m² de área total demolida.

No **Quadro 4.14** apresenta-se a energia necessária para realizar a demolição total do edifício, considerando que este processo apresentaria a mesma energia necessária da operação de equipamentos de demolição.

Quadro 4.14 - Necessidades energéticas para demolição de edifício

Processos utilizados	P _j (ton, m ³ , m ²)	P _j (kWh/ton, kWh/m ³ , kWh/m ²)	Q _{dem} (kWh)
Operação de equipamentos de demolição	3882,4 m ²	2 kWh/m ²	7764,8
Consumo de energia para demolição			7764,8 kWh
			28 GJ

Assim, a energia necessária para se proceder à demolição total do edifício seria igual a **28 GJ**.

4.7.1.3 Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais

Admitindo que os materiais utilizados provinham dos mesmos locais, com recurso ao mesmo meio de transporte (camião) e sem desperdícios de material, considera-se então, que apenas se aumentariam as quantidades de materiais transportados, provenientes de demolições (entulhos) e dos locais de produção até ao local da obra.

O **Quadro 4.15** apresenta a energia necessária para transportar o entulho para vazadouro e a nova quantidade de tijolos de 30x20x11+30x20x11 e de isolamento térmico que seriam aplicados no projeto com a variante 1.

Quadro 4.15 - Necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais

Tipo de Materiais	m _i (ton)	d _i (km)	T _c (kWh/ton km)	Q _{transp} (kWh)
Entulho	5511,5	25	0,3	41336,1
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	801,5	170	0,3	40878,5
Poliestireno extrudido	1,8	250	0,3	138,7
Restantes materiais				56109,9
Consumo total de energia para transporte				138463,2 kWh
				498,5 GJ

A energia necessária de transporte com a introdução da variante 1 no projeto seria de **498,5 GJ**.

4.7.1.4 Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício

Nesta fase, as necessidades energéticas poderiam considerar-se as mesmas da solução de demolição parcial do edifício, uma vez que, na reconstrução deste, os processos utilizados seriam semelhantes, no entanto, as atividades de execução de alvenarias e acabamentos seriam distintos, pois, nesta variante teriam de se construir novas fachadas. Posto isto, no **Quadro 4.16**, apresentam-se os consumos energéticos associados aos processos na construção do edifício.

Quadro 4.16 - Necessidades energéticas para construção do edifício

Processos utilizados	P _j (ton, m ³ , m ²)	P _j (kWh/ton, kWh/m ³ , kWh/m ²)	Q _{const} (kWh)
Escavação e preparação do terreno	1892,3 m ³	32 kWh/m ³	60553,6
Equipamentos	324,5 m ²	6 kWh/m ²	1946,9
Aplicação de betão em obra	2432 ton	44 kWh/ton	107009,8
Necessidades operacionais do estaleiro (iluminação)	324,5 m ²	26 kWh/m ²	8436,7
Alvenarias e acabamentos	1254,1 ton	22 kWh/ton	27590,9
Consumo total de energia para construção			205537,9 kWh
			739,9 GJ

Assim, a energia necessária para a construção do edifício seria de **739,9 GJ**.

4.7.1.5 Energia incorporada total da variante 1

O **Quadro 4.17** apresenta as necessidades energéticas referentes a cada uma das fases analisadas e a energia total da variante 1 – Demolição total do edifício.

Quadro 4.17 - Energia incorporada total da variante 1

Fases	Necessidades energéticas (GJ)
Extração e transformação de materiais	20019,4
Demolição do interior do edifício existente	28
Transporte de novos materiais e de entulhos	498,5
Construção do novo edifício	739,9
Q_{incorporada total}	21285,8 GJ

Em suma, a energia que seria consumida no pressuposto de que o edifício seria totalmente demolido corresponderia a **21285,8 GJ**, o que corresponde a um valor unitário de 7,8 GJ/m².

4.7.1.6 Emissões de CO₂ totais da variante 1

Devido às alterações introduzidas no mapa de quantidades, é importante conhecer e analisar o impacto que a alteração de uma variável (demolição) poderia provocar nas emissões de CO₂.

Com as novas quantidades de material e os valores unitários de emissões de CO₂, que se encontram no **Quadro 4.18**, pode-se determinar o impacto ambiental que este pressuposto poderia causar.

Quadro 4.18 - Emissões totais de CO₂ na variante 1

Tipo de Materiais	Quantidade (kg)	Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ /kg)	Emissão de CO ₂ por material (kg CO ₂)
Dupla - Tijolo 30x20x11+30x20x11	801538,4	0,2	176338,4
Poliestireno extrudido	1849,8	2,7	4994,5
Restantes materiais			843972,6
Teor Total de emissões de CO₂			1025305,5 kg CO₂
			1025,3 ton CO₂

Deste modo, obtinha-se um teor total de emissões de CO₂ de **1025,3 ton de CO₂**.

Numa análise comparativa com a situação real, a variante 1 apresenta, em termos percentuais, um teor total de emissões de CO₂ superior à da situação real em cerca de 6%.

4.7.2 Variante 2 – Reutilização de materiais

A variante 2 admite que no projeto de uma nova construção com manutenção ds fachadas, alguns dos materiais a utilizar no edifício a construir seriam provenientes de Resíduos de Construção e Demolição (RCD).

Os materiais que se consideram que passariam por um processo de reutilização são a madeira e os azulejos, isto é, não seriam sujeitos a trabalhos de extração de matéria-prima e produção. Assim, admite-se que a madeira dos pavimentos e os azulejos das paredes foram retirados de forma cuidadosa, para serem restaurados, e posteriormente, reutilizados. As percentagens de aproveitamento destes materiais admitiu-se:

- madeira (50%) dos pavimentos;
- azulejos (60%) das paredes.

Pressupõem-se então, que ocorreria demolição total do interior do edifício, de acordo com a situação real, mas que alguns dos materiais da demolição seriam aproveitados para os acabamentos do novo edifício, nomeadamente, para pavimentos e paredes.

Esta variante teria influência em:

- quantidade de material necessário;
- transporte de entulho para vazadouro;
- quantidade de material sujeita a processos de produção de material;
- transporte de material proveniente dos locais de produção para o local da obra.

No que respeita ao mapa de quantidades de material, este sofreria alterações, uma vez que, só seria necessário contabilizar 50% de madeira e 40% de azulejos.

O próximo quadro mostra as quantidades e as percentagens de materiais necessárias de madeira e azulejos, e respetivas massas.

Quadro 4.19 - Quantidades de madeira e azulejos e respetivas massas - Variante 2

Tipo de Materiais	Área (m ²)	Fator	Massa (kg)	Massa (ton)
		kg/m ²		
Madeira (50%)	566	20	11319	11,3
Azulejos (40%)	1015,9	60	60952,8	61

4.7.2.1 Cálculo das necessidades energéticas associadas à produção de materiais

Nesta fase, não seria necessário a extração da matéria-prima e a produção dos materiais recuperados (madeira e azulejos), uma vez que, se considera que estes estariam relativamente em bom estado, e que passariam por um processo de recuperação. Portanto, 50% da quantidade de madeira e 60% da dos azulejos não seriam contabilizados nos processos de produção.

Deste modo, os valores das necessidades energéticas destes processos apresentam-se no quadro infra.

Quadro 4.20 - Necessidades energéticas para produção de materiais

Tipo de Materiais	m _i (ton)	w _i (%)	M _i (kWh/ton)	Q _{transf} (kWh)
Madeira	11,3	10	200	2490,2
Azulejos	61	10	800	53638,5
Restantes materiais				4784924,9
Consumo total de energia para produção				4841053,5 kWh
				17427,7 GJ

Então, após efetuar os cálculos, tem-se que a energia necessária para a produção de materiais seria de **17427,7 GJ**.

4.7.2.2 Cálculo das necessidades energéticas associadas à demolição do edifício existente

Nesta variante, a quantidade de energia necessária para demolir o edifício seria igual à quantidade de energia de demolição referente à situação real, pois a área de demolição seria a mesma (2341 m²).

Deste modo, o consumo de energia para demolição do edifício, para posteriormente, ocorrer a construção do edifício em estudo, seria de **16,9 GJ**.

4.7.2.3 Cálculo das necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais

Admitindo que estes materiais também são transportados de camião (com igual fator de eficiência energética – 0,3 kWh/ton km) e que percorrem as mesmas distâncias, o que se altera é a quantidade de entulho transportado e a quantidade de material que chega das fábricas para o local da obra.

Sabendo que seria demolido 594 m³ da estrutura e revestimento de pisos, considera-se que, metade deste volume (297 m³) resultante da demolição seria aproveitado, isto é, não seria transportado para vazadouro. Assim, o volume de entulho transportado foi de 3107,4 m³.

Quanto ao transporte de materiais dos locais de produção até ao local onde serão aplicados, a quantidade de material seria menor, dada a menor necessidade de materiais novos.

A energia necessária para transportar os materiais, resultantes de demolições, e os que seriam reutilizados (madeira e azulejos), encontram-se no seguinte quadro.

Quadro 4.21 - Necessidades energéticas associadas ao transporte de materiais

Tipo de Materiais	m _i (ton)	d _i (km)	T _c (kWh/ton km)	Q _{transp} (kWh)
Entulho	4661,1	25	0,3	34958,3
Madeira	11,3	5	0,3	17
Azulejos	61	30	0,3	548,6
Restantes materiais				63830,1
Consumo total de energia para transporte				99353,9 kWh
				357,7 GJ

Desta forma, o consumo total de energia para transporte de entulho, da nova quantidade de madeira e azulejos e dos restantes materiais a aplicar no projeto seria de **357,7 GJ**.

4.7.2.4 Cálculo das necessidades energéticas associadas à construção do edifício

Nesta fase, e nesta variante, que ocorreria reutilização de materiais, considera-se que as necessidades energéticas seriam as mesmas da solução real, uma vez que, a quantidade de materiais a aplicar no edifício, sendo reutilizados ou não, seria a mesma. Pois, nesta fase o que interessa é a energia consumida nas atividades de construção do edifício, ou seja, neste caso, não importa de onde provém os materiais mas sim o consumo de energia na execução de acabamentos com esses materiais (madeira e azulejos).

Logo, como os processos utilizados seriam semelhantes, então, a energia necessária para construção do edifício é igual a **683,2 GJ**.

4.7.2.5 Energia incorporada total da variante 2

A partir da energia necessária em cada uma das fases consideradas, obtinha-se a energia incorporada total da variante 2. O **Quadro 4.22** apresenta o resultado da quantificação de energia em cada fase e o valor da energia incorporada total desta variante.

Quadro 4.22 - Energia incorporada total da variante 2

Fases	Necessidades energéticas (GJ)
Extração e transformação de materiais	17427,7
Demolição do interior do edifício existente	16,9
Transporte de novos materiais e de entulhos	357,7
Construção do novo edifício	683,2
Q_{incorporada total}	18485,4 GJ

Assim, a energia necessária para a construção do edifício, de acordo com os pressupostos desta variante, seria de **18485,4 GJ**, o que corresponde a 6,8 GJ/m².

4.7.2.6 Emissões de CO₂ totais da variante 2

Nesta secção, é possível verificar a quantidade de CO₂ que seria libertado da construção do edifício, no **Quadro 4.23**, através do produto das quantidades de

material (que não inclui os materiais reutilizados) pela quantidade de emissões de CO₂ por material (kg CO₂/kg).

Quadro 4.23 - Emissões totais de CO₂ na variante 2

Tipo de Materiais	Quantidade (kg)	Emissão de CO ₂ (kg-CO ₂ /kg)	Emissão de CO ₂ por material (kg-CO ₂)
Madeira	11319	0,5	5206,7
Azulejos	60952,8	0,7	39619,3
Restantes materiais			886864,1
Teor Total de emissões de CO₂			931690,2 kg CO₂
			931,7 ton CO₂

O teor total de emissões de CO₂ na variante 2, seria igual a **931,7 ton de CO₂**, apresentando relativamente à situação real, uma quantidade total de emissões de CO₂ menor em cerca de 4%.

4.8 Custos associados à obra de construção

Nesta secção pretende-se conhecer o custo ambiental de um dos impactes estudados no presente trabalho, as emissões de CO₂, associadas aos consumos energéticos necessários à construção do edifício, como também, o custo de construção com recurso à estimativa orçamental.

Na determinação destes custos não se considera a taxa de Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA), caso contrário, os custos a obter seriam expressivamente mais elevados.

4.8.1 Custo ambiental da situação real

O custo ambiental consiste numa metodologia proposta neste trabalho para determinar o custo do impacte ambiental provocado pela utilização de materiais na construção do edifício, ou seja, traduz-se na fatura que se pagaria se estes impactes tivessem preço.

Para se determinar uma estimativa deste custo, teve-se em conta as emissões de CO₂ obtidas anteriormente dos materiais de construção considerados, bem como, o custo de uma tonelada de emissão de CO₂, adotando para este caso, o valor de mercado das licenças de emissão de CO₂ (4,78 €/ton) (SENDECO₂, 2013).

O **Quadro 4.24** apresenta o custo ambiental da situação real.

Quadro 4.24 - Custo ambiental da situação real

Emissões de CO ₂ (ton CO ₂)	Valor de mercado de emissões de CO ₂ (€/ton)	Custo ambiental (€)
971,3	4,8	4642

Através deste quadro, é possível verificar que o custo ambiental associado às emissões de CO₂ seria de **4642 €**.

4.8.2 Custo ambiental da variante 1

No que respeita à variante 1, sabendo que seria emitido cerca de 1025,3 ton de CO₂, temos no **Quadro 4.25**, o custo ambiental referente a esta variante.

Quadro 4.25 - Custo ambiental da variante 1

Emissões de CO ₂ (ton CO ₂)	Valor de mercado de emissões de CO ₂ (€/ton)	Custo ambiental (€)
1025,3	4,8	4921

Assim, tendo em conta o pressuposto da variante 1, o custo ambiental seria de **4921 €**.

4.8.3 Custo ambiental da variante 2

No **Quadro 4.26** apresenta-se o custo ambiental da variante 2, sabendo que neste pressuposto seria emitido 931,7 ton de CO₂.

Quadro 4.26 - Custo ambiental da variante 2

Emissões de CO ₂ (ton CO ₂)	Valor de mercado de emissões de CO ₂ (€/ton)	Custo ambiental (€)
931,7	4,8	4472

No caso do pressuposto da variante 2, o custo ambiental seria de **4472 €**.

4.8.4 Custo de construção

A estimativa do custo da obra de edificação é elaborada com base no valor unitário do custo de construção, neste caso, para as áreas totais de espaços comuns, de serviços e dos quartos. De acordo com os dados da empresa construtora, o custo da construção do edifício para a área total de 2723,6 m² ronda os 2770 mil €.

4.9 Verificação das alterações orçamentais

Nesta secção pretende-se verificar e analisar as variações que poderiam ocorrer no orçamento da obra aplicando as variantes estudadas. No que respeita às alterações nas quantidades de materiais, procura-se determinar o custo através de rendimentos dos recursos utilizados e analisar as variações que ocorreriam no custo total da construção do edifício.

Como o presente trabalho estuda um projeto de uma obra que apresenta manutenção de fachadas de um edifício antigo, admite-se que ocorreram atividades de conservação e reabilitação, e ainda se considera que poderiam realizar-se ações de restauro de materiais, como é o caso de madeiras e azulejos. Então, dado que se estuda ações de conservação e reabilitação, pretende-se estimar estes custos, através de modelos que permitam essa quantificação.

Deste modo, André (2008) propôs as Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação (ECAACR), cujo objetivo traduz-se em complementar as fichas de rendimento do LNEC, no domínio da conservação e/ou reabilitação.

Nas ECAACR pretende-se organizar e obter informações de forma metódica sobre as ações, e mais concretamente, sobre as operações de construção ou tarefas que possam ser realizadas neste tipo de intervenções.

As ECAACR são sustentadas por umas fichas, que são preenchidas com os rendimentos relativos a cada recurso (mão-de-obra, equipamentos e materiais), os custos unitários, e conseqüentemente, a obtenção dos custos de fabrico e os preços de venda ao público (P.V.P). Essas fichas designam-se por fichas de ECAACR (André, 2008).

Uma ficha ECAACR apresenta a seguinte estrutura:

Quadro 4.27 - Ficha Tipo ECAACR (André, 2008)

				Número:	(1)
Designação:				(2)	
Unidade:	(3)				
				Custo Unitário (€/Unidade)	
	Recurso	Quantidade	Unid. Rec./Unid.	Recurso	Ação
Materiais	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Mão-de-obra					
Equipamentos					
				Custo Fabrico:	(9)
Incidência no Custo Fabrico (%):	Materiais	Mão-de-obra	Equipamentos		
	(11)				
P.V.P. possui um incremento de 30% ao custo de fabrico considerando custos de estaleiro, lucros e imprevistos				P.V.P:	(10)

Legenda:

- (1) Número de identificação da ficha;
- (2) Designação da operação de construção;
- (3) Unidade de medição da operação de construção;
- (4) Designação dos recursos afetos à operação de construção (materiais, mão-de-obra e equipamentos);
- (5) Quantidades de recursos utilizados para execução de uma unidade de medição da operação de construção (rendimento);
- (6) Unidades de medição do recurso (unidade de medição da operação de construção);
- (7) Custos unitários dos recursos (€/unidade de medição do recurso);
- (8) Custos unitários dos recursos por unidade da operação de construção (€/unidade de medição da operação de construção);
- (9) Custo de fabrico (€/unidade de medição da operação de construção);
- (10) Custo efetivo ou preço de venda ao público (P.V.P.) (€/unidade de medição da operação de construção);
- (11) Incidência do custo total dos recursos (materiais, mão-de-obra e equipamentos) (%).

Após o preenchimento destas fichas, pode-se proceder à elaboração da ECAACR propriamente dita, cuja apresentação será da seguinte forma:

Quadro 4.28 - Apresentação Geral das Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação (André, 2008)

Principais Elementos Constituintes ou Outro Grande Domínio de Ação					
Designação	Material Base	Outras Características	Nível de Intervenção	Fichas ECAACR	Fichas LNEC - IC -

De seguida, proceder-se-á à elaboração de uma proposta de estimativa dos custos associados às variantes do projeto, o mais completa possível, no âmbito das intervenções de conservação (por exemplo, recuperação de materiais), como forma de avaliar em que recursos poder-se-ia poupar ou gastar ainda mais do que na situação real. Para isso, efetua-se o preenchimento das fichas ECAACR para

conhecer os rendimentos dos recursos, quando não é possível conhecer os valores dos mesmos através das fichas de rendimento do LNEC.

Para o preenchimento das fichas ECAACR, procedeu-se à pesquisa de custos praticados em empresas e rendimentos dos recursos em orçamentos realizados na indústria da construção civil, que apesar de poderem já estarem desatualizados, permitem servir de base à elaboração das fichas ECAACR, e daí, ser possível obter conclusões sobre as variações nos recursos e no orçamento do projeto.

4.9.1 Alteração no orçamento - Variante 1

A variante 1, como já foi enunciado, corresponde à demolição total do edifício, ou seja, demolição também de fachadas do edifício.

Nesta variante, elaborou-se uma ficha ECAACR, pois existe escassa informação contida nas fichas de rendimento do LNEC, no que respeita à demolição de paredes de fachada de alvenaria de pedra.

A ficha ECAACR referente à variante 1 (**Quadro 4.29**) designa-se por demolição de fachadas de alvenaria de pedra, sem contabilizar o custo associado ao transporte de resíduos gerados a vazadouro.

O objetivo do preenchimento desta ficha é conhecer os rendimentos dos recursos utilizados na operação de demolição, e por conseguinte, o custo da operação. A ficha ECAACR correspondente à variante 1, tendo em conta dados de Orçamentos e Orçamentação na Construção Civil, apresenta-se da seguinte forma:

Quadro 4.29 - Ficha ECAACR - Variante 1

				Número	1
Designação	Demolição de fachadas de alvenaria de pedra				
Unidade	m ²				
				Custo Unitário (€/Unidade)	
	Recurso	Quantidade	Unid.Rec./Unid.	Recurso	Ação
Materiais	-	-	-	-	-
Mão-de-obra	Pedreiro	474,1	h	9,7	4598,6
	Servente	474,1	h	7,9	3764,2
Equipamentos	Martelos elétricos	948,2	h	0,8	796,5
				Custo Fabrico:	9159,2
Incidência no Custo Fabrico (%)	Materiais	Mão-de-obra	Equipamentos		
	-	91,3	8,7		
P.V.P. possui um incremento de 30% ao custo de fabrico considerando custos de estaleiro, lucros e imprevistos				P.V.P.	11907 €

Como se pode verificar, no orçamento ter-se-ia de acrescentar aproximadamente € 12000 para a demolição também das fachadas, em que, o

recurso com maior incidência no custo de fabrico é o referente à mão-de-obra, com cerca de 91%, seguida de 8,7% de equipamentos.

4.9.2 Alteração no orçamento - Variante 2

Na determinação dos custos relativos ao recurso dos materiais da variante 2 - utilização de materiais reutilizados, nomeadamente, a madeira e azulejos, não se contabilizam as betonilhas e colas, pois considera-se que nas atividades de assentamento de azulejos e de soalhos de madeira já estão incluídas.

Assim, de seguida, analisar-se-á cada um dos materiais estudados nesta variante.

4.9.2.1 Reutilizar 60% de azulejos

Para determinar o custo total da operação de assentamento de azulejos, sabendo que iriam economizar na compra de 60% do material necessário, utilizaram-se os dados das fichas de rendimento do LNEC, para se conhecer o valor que se pouparia, e uma ficha ECAACR para determinar o custo do restauro dos azulejos, e assim, poder-se comparar estas duas intervenções.

O **Quadro 4.30** mostra o custo de cada recurso, e consequentemente, o custo total da operação da situação real.

Quadro 4.30 - Ficha rendimento LNEC – Situação Real – Azulejos

Data: Dez/13		Descrição da Operação (Unidade = m ²)	IC - 1649	
			Código: 7207	
Revestimento de paredes com azulejos de 20x20				
Quantidade	Unidade	Descrição dos Recursos	Custos (€)	
			Unitários	Totais
882,4	m ²	Ladrilhos de 20x20	11,9	10483,2
				10483,2
555,9	h	Ladrilhador	7,5	4180,6
370,6	h	Servente	6,2	2301,6
				6482,1
CUSTO DIRETO (coef. Eficiência = 1.00)				
Incid. No Custo Direto: MATERIAIS = 61,79 % EQUIPAMENTOS = 0,0 % MÃO-DE-OBRA = 38,21 %				16965,3
CUSTO DA OPERAÇÃO (S/lucro % Custos Indiretos de 10,0%)				18661,8
CUSTO TOTAL DA OPERAÇÃO (% de Lucros de 8,0 %)				20155 €

Neste caso, pode constatar-se que no orçamento da obra economizava-se 20155 €, no que respeita à compra de materiais e mão-de-obra para a colocação de azulejos em paredes. No entanto, importa fazer referência que este valor pode ser irrelevante tendo em conta a mão-de-obra necessária para o restauro dos azulejos.

Assim, realiza-se uma estimativa do custo do restauro, de modo a perceber se é mais vantajoso restaurar ou comprar e aplicar novos azulejos.

Sabendo que a recuperação foi de azulejos pombalinos, a realização de réplicas pode traduzir-se numa atividade dispendiosa dado que se trata de um trabalho minucioso.

Admitindo que o custo de uma réplica destes azulejos é de 60 €/m², sendo a mão-de-obra considerada como o recurso com maior influência no custo, e como ter-se-ia uma área de 882,4 m² de painéis de azulejos recuperados, então, o custo do restauro pode ser visualizado na seguinte ficha ECAACR (**Quadro 4.31**):

Quadro 4.31 - Ficha ECAACR - Variante 2 – Azulejos

				Número	2
Designação	Restauro de azulejos com 20x20				
Unidade	m ²				
				Custo Unitário (€/Unidade)	
	Recurso	Quantidade	Unid.Rec./Unid.	Recurso	Ação
Materiais	-	-	-	-	-
Mão-de-obra	Restaurador	882,4	m ²	60	52945,2
Equipamentos	-				-
				Custo Fabrico:	52945,2
Incidência no Custo Fabrico (%)	Materiais	Mão-de-obra	Equipamentos		
	-	100	-		
P.V.P. possui um incremento de 30% ao custo de fabrico considerando custos de estaleiro, lucros e imprevistos				P.V.P.	68829 €

Através da análise do custo da compra e aplicação de azulejos nas paredes (20155 €) e do custo apenas do seu restauro (68829 €) pode-se verificar que, apesar do restauro de azulejos permitir a conservação do património arquitetónico, este apresenta um custo mais elevado do que adquirir novos materiais. Então, neste caso, em termos orçamentais, restaurar azulejos traduzir-se-ia numa solução menos vantajosa.

4.9.2.2 Reutilizar 50% de madeira

Neste tópico, determina-se o valor que, no caso de reutilização de madeira, se pouparia no orçamento da obra e qual o valor que se pagaria pela recuperação dos pavimentos de madeira. Para isso, elaborou-se uma ficha com os dados das fichas de rendimento do LNEC (**Quadro 4.32**) para a operação de aplicação de soalhos de madeira em pavimentos (situação real), admitindo que seriam necessários cerca de 6 dias para aplicação do soalho de madeira em 566 m² e

preencheu-se uma ficha ECAACR para a recuperação de pavimentos de madeira (Quadro 4.33).

Quadro 4.32 - Ficha LNEC – Situação Real – Madeira

Data: Dez/13		Descrição da Operação (Unidade = m ²)		IC - 1701	
				Código: 9099	
Revestimento de pavimentos em soalho de madeira de 10x2,2 cm					
Quantidade	Unidade	Descrição dos Recursos	Custos (€)		
			Unitários	Totais	
566	m ²	Soalho de madeira de 10x2,2 cm	8,4	4725,7	
				4725,7	
53,9	h	Pedreiro	7,5	405	
53,9	h	Carpinteiro	7,5	405	
26,9	h	Servente	6,2	167,2	
				977,1	
CUSTO DIRETO (coef. Eficiência = 1.00)					
Incid. No Custo Direto: MATERIAIS = 61,79 % EQUIPAMENTOS = 0,0 % MÃO-DE-OBRA= 38,21 %				5702,8	
CUSTO DA OPERAÇÃO (S/lucro % Custos Indiretos de 10,0%)				6273,0	
CUSTO TOTAL DA OPERAÇÃO (% de Lucros de 8,0 %)				6775 €	

Tal como na análise de custos dos azulejos, na utilização da madeira também se procura quantificar o valor que pagar-se-ia se se procedesse à recuperação dos pavimentos de madeira. Admite-se que as empresas da especialidade de restauração de madeiras cobram o valor de 11 €/m², já incluindo todos os recursos necessários. Deste modo, o recurso, sem o qual é indispensável para a execução do trabalho é a mão-de-obra, por isso, é neste que se determina o custo da operação.

Quadro 4.33 - Ficha ECAACR - Variante 2 – Madeira

				Número	3
Designação	Recuperação de pavimento em soalho de madeira 10x2,2 cm				
Unidade	m ²				
				Custo Unitário (€/Unidade)	
	Recurso	Quantidade	Unid.Rec./Unid.	Recurso	Ação
Materiais	-	-	-	-	-
Mão-de-obra	Carpinteiro	566	m ²	11	6225,5
Equipamentos	-	-	-	-	-
				Custo Fabrico:	6225,5
Incidência no Custo Fabrico (%)	Materiais	Mão-de-obra	Equipamentos		
	-	100	-		
P.V.P. possui um incremento de 30% ao custo de fabrico considerando custos de estaleiro, lucros e imprevistos				P.V.P.	8093 €

Portanto, para recuperar uma área de 566 m² de pavimento em madeira, ter-se-ia de gastar 8093 €. Mas, ainda que seja um valor superior ao custo total da operação de aplicação do soalho em madeira, incluindo a compra do material, não se traduz numa diferença muito significativa. Por isso, devido sobretudo à elevada mão-de-obra necessária à recuperação do material, se ainda se considerasse a aplicação do mesmo, restaurar pavimentos em madeira ou outros elementos em madeira, se estiverem em relativo bom estado de conservação, pode ser considerada uma solução menos viável, em termos económicos, do que a compra de novos materiais.

4.9.3 Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação (ECAACR)

Após o preenchimento das fichas de ECAACR e fichas do LNEC, pode-se elaborar as ECAACR das variantes estudadas.

4.9.3.1 Variante 1

Na Variante 1 – demolição de fachadas considera-se que seria uma intervenção profunda, pelos seguintes motivos: ocorreria a demolição de mais de 50% do edifício, e posterior reconstrução; profundas alterações na distribuição e organização interior dos espaços; obrigaria à desocupação do edifício; custo da obra superior a 50% do custo total do edifício equivalente a construir de novo, entre outros.

Na ação de demolição, tal como na situação real, a técnica utilizada para a demolição foi manual, através de martelos elétricos, e considera-se que também ocorreram aproveitamentos de alguns materiais para executar a reconstrução, nomeadamente, por exemplo, azulejos e portadas de madeira no interior do edifício.

A ECAACR respeitante à demolição das fachadas do edifício, enunciada na variante 1 apresenta-se no seguinte quadro:

Quadro 4.34 - ECAACR - Variante 1

Demolições					
Designação		Outras Características	Nível de Intervenção	Fichas ECAACR	Fichas LNEC - IC -
Fachadas	Demolição manual	Com aproveitamentos	Profunda	1	-

4.9.3.2 Variante 2

Na variante 2, relativamente à reutilização de azulejos e madeiras, admitiu-se que se trata de intervenções de nível médio, isto é, consistem em reparações que não obrigam demolição de mais de 50% do elemento, e das quais resulte uma aproximação ao nível de qualidade inicial.

Quadro 4.35 - ECAACR - Variante 2 – Azulejos

Paredes				
Designação	Material Base	Nível de Intervenção	Fichas ECAACR	Fichas LNEC – IC –
Restauro de material	Azulejo	Média	2	-

Quadro 4.36 - ECAACR - Variante 2 – Madeira

Pavimentos				
Designação	Material Base	Nível de Intervenção	Fichas ECAACR	Fichas LNEC – IC –
Recuperação de material	Madeira	Média	3	-

4.9.4 Resumo das alterações orçamentais

Nesta secção apresenta-se uma síntese com as alterações que, com a introdução das variantes no projeto, ocorreriam na estimativa orçamental. Para introduzir os custos associados às atividades propostas para alterar o projeto, é necessário deduzir o custo das ações efetuadas na situação real, ou seja:

- **Variante 1:**
 - incrementar o custo da demolição de fachadas;
- **Variante 2:**
 - azulejos - Deduzir o custo dos materiais e mão-de-obra da aplicação de azulejos novos e incrementar o custo da mão-de-obra da restauração dos azulejos antigos;
 - madeira – Deduzir o custo dos materiais e mão-de-obra da aplicação de pavimentos novos de madeira e incrementar o custo da restauração dos pavimentos antigos de madeira.

No **Quadro 4.37** apresenta-se o valor total estimado para a construção (2770000 €), com as deduções dos custos da situação real e os aumentos dos custos associados a cada uma das variantes, em valores negativos ou positivos.

Quadro 4.37 - Resumo das Alterações Orçamentais

Variante	Situação Real	Alteração – Variantes	Total
Situação Real	-	-	2770000 €
Variante 1	-	+ 11907 €	2781907 €
Variante 2 - Azulejos	- 20155 €	+ 68829 €	2818674 €
Variante 2 - Madeira	- 6775 €	+ 8093 €	2771318 €

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1 Apresentação e análise de resultados

Nesta secção, pretende-se apresentar e analisar, em modo de síntese, os resultados obtidos dos parâmetros determinados no caso de estudo, designadamente, a energia incorporada dos materiais, emissões de CO₂, custo ambiental e custo de construção.

Nesta análise também procura-se verificar qual a fase e os materiais que apresentam maior contribuição em termos de consumo de energia e emissões de CO₂.

A análise encontra-se dividida em análise energética, ambiental e económica, em que se apresenta uma comparação daqueles parâmetros entre as variantes e a situação real do caso de estudo, de modo a perceber qual a variante que se traduziria na mais vantajosa. No **Quadro 5.1** apresentam-se os resultados de energia incorporada e emissões de CO₂ e no **Quadro 5.2** os resultados dos custos – ambiental e de construção e as respetivas variações percentuais.

Quadro 5.1 - Síntese dos resultados de energia incorporada e emissões de CO₂

Situação	Energia incorporada (GJ)	Variação (%)	Emissões de CO ₂ (ton CO ₂)	Variação (%)
Caso real	18676,4		971,3	
Variante 1	21285,8	+ 14	1025,3	+ 6
Variante 2	18485,4	- 1	931,7	- 4

Quadro 5.2 - Síntese dos resultados de custo ambiental e custo de construção

Situação	Custo ambiental (€)	Variação (%)	Custo de Construção (€)	Variação (%)
Caso real	4642		2770000	
Variante 1	4921	+ 6	2781907	+ 0,4
Variante 2	4472	- 4	2819992	+ 1

5.1.1 Análise energética

Esta análise tem como objetivo verificar a fase e o material com maior contributo nos consumos energéticos, como também constatar qual a situação estudada com maior energia incorporada.

Após a quantificação dos recursos energéticos associados a cada uma das fases consideradas neste estudo, e tendo em conta os resultados da situação real do projeto, é possível verificar que, a fase que apresenta um maior consumo de energia é a fase que inclui os processos de extração e produção de materiais (**Fig. 5.1**), e por isso neste caso, traduz-se na fase com maior contribuição para a energia incorporada.

Este resultado vai ao encontro com a informação recolhida aquando da revisão bibliográfica, que apontava a fase de produção de materiais como uma das fases que mais consome energia.

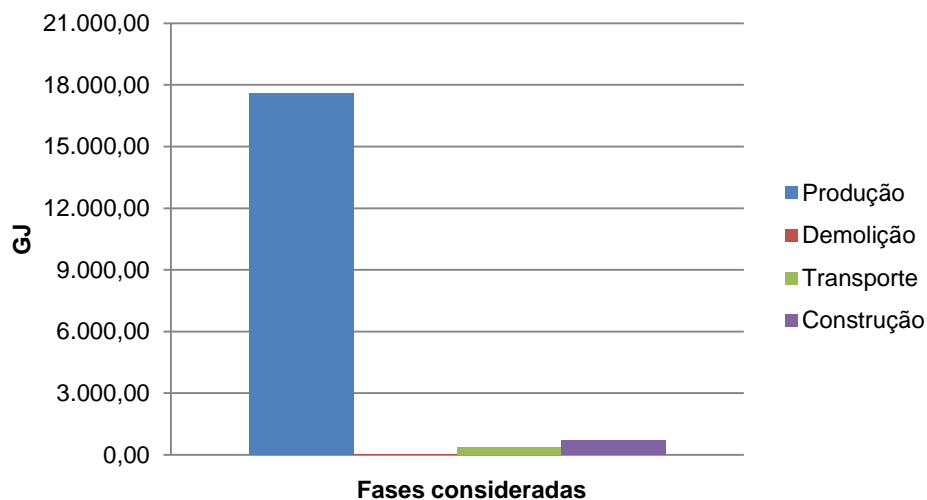


Figura 5.1 - Contributo das diferentes fases para a energia incorporada

Ao analisar os materiais utilizados no projeto, na **Fig. 5.2** apresentam-se os materiais com maior contribuição no consumo energético na fase de produção de materiais. Através da figura, observa-se que os materiais que mais contribuem para a fase de produção são o aço e o betão, com 50% e 28% respetivamente.

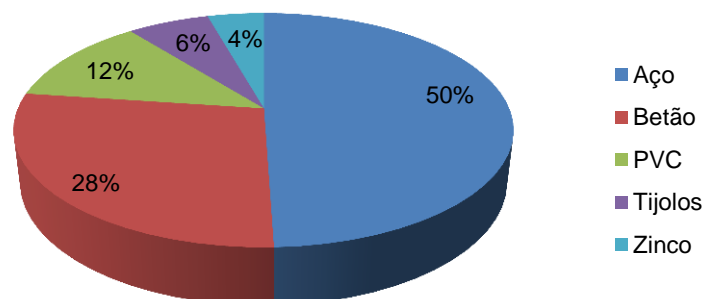


Figura 5.2 - Contributo dos diferentes materiais na fase de produção de materiais

Esta discrepância do aço relativamente aos outros materiais pode estar relacionada com as elevadas necessidades energéticas propostas para a produção do aço (13200 kWh/Ton). No que diz respeito à diferença entre o contributo do aço e do betão, verifica-se que a quantidade de betão no projeto é muito superior à do aço, mas as necessidades energéticas deste relativamente às necessidades do betão são significativamente maiores.

Em termos de energia incorporada total das situações estudadas – real, variante 1 e variante 2 – a variante 1, que corresponde à demolição total do edifício, é a que verifica maior energia incorporada total, conforme a representação gráfica da **Fig. 5.3**.

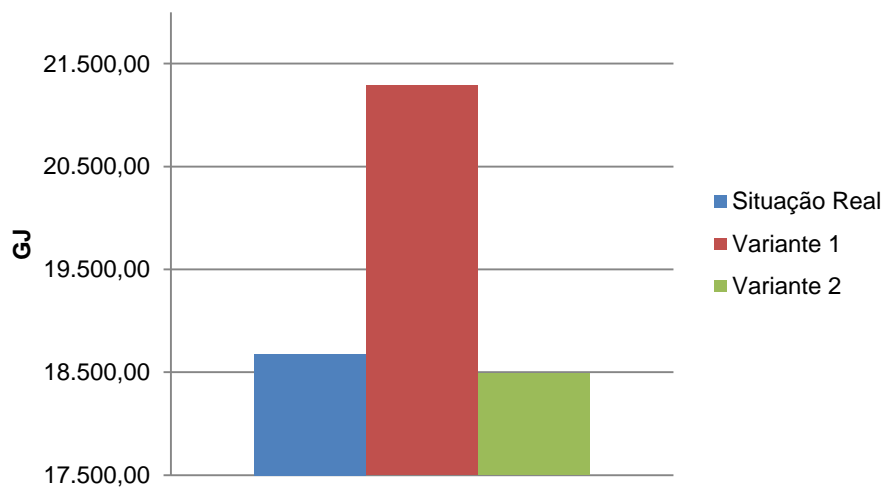


Figura 5.3 - Energia incorporada das situações estudadas

O resultado da energia incorporada total da variante 1, em relação à situação real, está relacionado com uma maior necessidade de produção de materiais, nomeadamente, tijolos e isolamento térmico para reconstruir as fachadas do edifício e um maior consumo energético de demolição e transporte. Este facto deve-se a que a área a demolir seria superior, e consequentemente, a quantidade de entulhos transportados a vazadouro seria maior.

Nesta análise energética, também é possível verificar que apenas na situação da variante 2, seria possível poupar em termos de consumos de energia associada aos processos envolvidos na construção do edifício. Esta poupança é devida fundamentalmente à parcela referente à energia de produção, uma vez que, na reutilização de materiais, existe menor quantidade de material a ser produzido. Mas é de notar que, apesar da energia de produção ser inferior comparativamente com a situação real, a diferença é pouco significativa. Este facto leva a crer que, poder-se ia conseguir reduções substanciais na energia de produção de novos materiais, e em

consequência, na energia incorporada, caso se recorresse a materiais reciclados com maior peso no mapa de quantidades, como por exemplo, o aço, pois, como já constatado, é um material com elevada contribuição na energia de produção.

Por forma a verificar se os resultados obtidos de energia incorporada são muito dispares, com base noutra metodologia. Procede-se de seguida, a uma análise comparativa tendo em consideração uma abordagem *cradle to gate* de Hammond & Jones (2008), isto é, análise da fase de produção, para alguns dos materiais mais significativos em termos de energia incorporada. O **Quadro 5.3** apresenta os valores de energia incorporada pelo método de Adalberth (1997) e os valores de energia incorporada que seriam obtidos pelo método de Hammond & Jones (2008) e a respetiva variação (%).

Quadro 5.3 - Comparação da energia incorporada da aplicação de dois métodos
(Adalberth, 1997; Hammond & Jones, 2008)

Materiais	EI (MJ) (Adalberth)	EI (MJ/kg) (Hammond & Jones)	Quantidade (kg)	EI (MJ) (Hammond & Jones)	Variação (%)
Aço	7520393,6	9,5	143840,4	1346657,3	- 82
Betão	3467116,2	1,0	2432040,0	2310438,0	- 33
PVC	2020752,4	77,2	11339,8	875432,6	- 57
Tijolos	1050920,8	3,0	308586,1	925758,3	- 12
Zinco	724531,5	61,9	12197,5	755025,3	+ 4

A partir dos dados obtidos nesta análise comparativa, é possível verificar que em certos materiais existem grandes discrepâncias de energia incorporada de um método para o outro, como é o caso do aço e do PVC, mas em outros materiais, os valores obtidos pelas duas metodologias são muito próximos.

Estas constatações sugerem que de país para país, os processos de extração e produção de alguns materiais podem ser muito semelhantes, e noutros muito distintos.

5.1.2 Análise ambiental

Nesta análise procura-se, através dos resultados obtidos, estabelecer comparações entre a situação real e as variantes estudadas no que respeita às emissões CO₂.

O método utilizado apesar de ter em conta uma abordagem de *cradle to gate* (desde a extração de matéria-prima até à fábrica), os valores obtidos permitem contribuir para uma estimativa das emissões de CO₂ neste cenário, tal como, o indicar os materiais que mais poderiam influenciar estas emissões.

O **Quadro 5.4** mostra as emissões de CO₂ de cada uma das situações estudadas e uma comparação entre a situação real e cada uma das variantes.

Quadro 5.4 - Comparação das emissões de CO₂ - Situação real *versus* Variantes

Situação	Emissões de CO ₂ (ton CO ₂)	Situação real <i>versus</i> Variante (ton CO ₂)
Caso real	971,3	-
Variante 1	1025,3	+ 54,0
Variante 2	931,7	- 39,6

Em termos ambientais, um menor consumo de energia associado ao pressuposto da variante 2 – utilização de materiais reutilizados –, conduz à redução das emissões de CO₂ em cerca de 4% do valor de CO₂ emitido pela construção do edifício (situação real).

Enquanto que, na variante 1 – demolição total do edifício – verifica-se um aumento de emissões de CO₂ em aproximadamente 6%.

Analisando os materiais que provocam maiores emissões de CO₂, é possível destacar o aço (44%) e o betão (39%) como os que apresentam maior contribuição (**Fig. 5.4**).

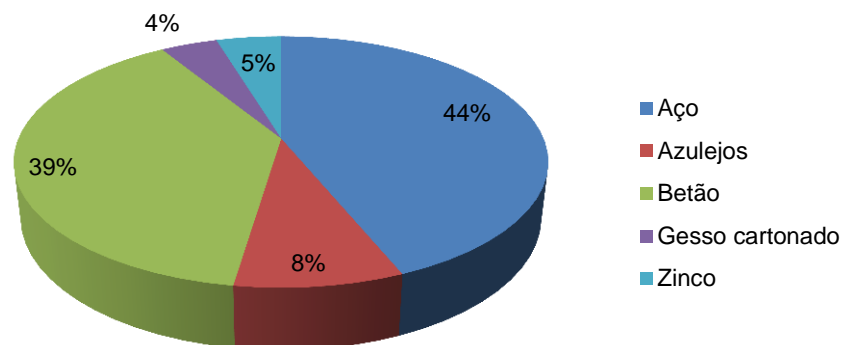


Figura 5.4 - Contributo dos diferentes materiais nas emissões de CO₂

Estas percentagens resultam essencialmente dos elevados consumos na produção destes dois materiais, em que no caso do betão, devido sobretudo à grande quantidade de material necessário, e o aço, por apresentar um coeficiente de carbono de 1,8 kg CO₂/kg, o que comparativamente com o coeficiente do betão (0,1 kg CO₂/kg), é muito elevado.

Na utilização dos dados de Hammond & Jones (2008) também torna evidente, através da análise dos valores de emissões de CO₂ por kg de material, que materiais como, o poliestireno extrudido, o PVC e o zinco são responsáveis pela emissão de grande quantidade de carbono.

5.1.3 Análise económica

Do ponto de vista económico, o cálculo do custo ambiental permite avaliar as implicações que as emissões de CO₂, associadas aos consumos de energia na construção de um edifício, poderiam ter no custo total da construção do mesmo, caso este custo englobasse a parcela ambiental.

Assim, em modo de comparação das três situações estudadas, apresentam-se no **Quadro 5.5** os custos ambientais associados a cada uma.

Quadro 5.5 - Comparação do custo ambiental - Situação real *versus* Variantes

Situação	Custo ambiental (€)	Situação real <i>versus</i> Variante (€)
Caso real	4642	-
Variante 1	4921	+ 279
Variante 2	4472	- 170

Através da análise do custo ambiental no caso de utilização das variantes, constata-se que a opção mais vantajosa seria a variante 2, pois seria aquela onde poderia ocorrer uma poupança económica, em 170 €, relativamente à situação real. Esta poupança está associada, como já foi verificado, a um menor consumo de energia na aplicabilidade desta variante, e portanto, menor quantidade de CO₂ seria emitido.

Já no caso da variante 1, ocorreria um aumento no orçamento superior a 270 € relacionado com uma maior quantidade de emissões de CO₂, fundamentalmente associado ao consumo de energia de produção de materiais para a construção de novas fachadas.

Quanto ao custo de construção do edifício, tendo em conta os trabalhos que seriam executados na aplicação das variantes no projeto, é possível estabelecer uma análise comparativa do custo de construção da situação real e das variantes (**Quadro 5.6**).

Quadro 5.6 - Comparação do custo de construção - Situação real *versus* Variantes

Situação	Custo de construção (€)	Situação real <i>versus</i> Variante (€)
Caso real	2770000 €	-
Variante 1	2781907 €	+ 11907
Variante 2	2819992 €	+ 49992

Do ponto de vista orçamental, nenhuma das soluções apresentadas nas variantes traduzir-se-ia económica no que respeita aos gastos necessários à

construção do edifício, ou seja, na aquisição de materiais, mão-de-obra, equipamentos e todos os outros custos associados a uma intervenção deste nível.

Portanto, considerando a parcela referente ao custo ambiental e ao custo de construção, propõem-se um custo total da obra, que resulta do somatório destas duas parcelas. No **Quadro 5.7** apresentam-se o custo total de construção do caso real e das variante 1 e 2, onde é possível verificar que, relativamente ao caso real, na aplicação da variante 1 ou variante 2, o custo total seria superior em 12186 € e 49822 € respetivamente.

Quadro 5.7 - Comparação do custo total de construção - Situação real versus Variantes

Situação	Custo total de construção (€)	Situação real <i>versus</i> Variante (€)
Caso real	2774642	-
Variante 1	2786828	+ 12186
Variante 2	2824464	+ 49822

Em jeito de síntese dos resultados obtidos, temos que em termos gerais, a variante 2 revela-se como a opção mais vantajosa, a nível ambiental, por apresentar valores de energia incorporada, emissões de CO₂ e custos associados a estas emissões (custo ambiental) mais baixos do que a situação real.

A nível económico, o custo da construção das duas variantes é superior à estimativa orçamental relativa à situação real, e assim, nenhuma das variantes apresenta-se como vantajosa.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Na presente dissertação procurou-se conhecer e aprofundar o conceito de energia incorporada nos materiais de construção, e conhecer a influência deste parâmetro e das respetivas emissões de CO₂, nos impactes ambientais que são provocados pela construção de um edifício.

Com a realização deste trabalho aspirou-se contribuir para o atual estado de arte no âmbito da sustentabilidade na construção, através da abordagem de medidas e soluções que possam reduzir, em termos significativos, os consumos de energia no setor dos edifícios.

A aplicação do caso de estudo permitiu reunir um conjunto de informações e tirar diversas conclusões, a partir das variantes adotadas, no que respeita ao consumo de energia, emissões de CO₂ e custos – ambiental e de construção.

Para desenvolver este estudo recorreu-se a metodologias e dados de estudos internacionais para quantificar a energia incorporada e emissões de CO₂, pois existem poucos estudos a nível nacional.

Por este motivo, os resultados obtidos destes parâmetros podem não corresponder aos materiais de construção da indústria portuguesa. No entanto, julgam-se suficientes para permitir estimar e comparar os valores de energia incorporada e emissões de CO₂ entre diferentes soluções de construção.

Embora os resultados possam ser meramente representativos, com este trabalho foi possível identificar as fases, os materiais de construção e o tipo de soluções que mais contribuem para a energia incorporada e emissões de CO₂. Permitindo, então, concluir que a fase de produção e o aço e o betão correspondem à fase e aos materiais com maior contribuição na energia incorporada e respetivas emissões de CO₂. Esta situação deve-se às maiores necessidades de aplicação de aço e betão na construção da nova estrutura.

Através da análise comparativa entre o método de Adalberth (1997) e de Hammond & Jones (2008), é possível constatar que em alguns materiais os valores de energia incorporada por kg de material são muito diferentes, tendo em conta a fase de produção de materiais, que inclui a extração de matérias-primas (*cradle to gate*). Nesta situação julga-se que podem estar associados a diferentes processos de produção de materiais, pois como foi sugerido, e esta análise comprova isso mesmo, os processos de produção, e consequentemente a energia incorporada, varia de país para país.

No que respeita às soluções apresentadas, a variante 1, que corresponde à demolição integral do edifício, é a solução com maior custo ambiental, que está

associado ao maior consumo de energia em relação às outras soluções. A variante 2 - reutilização de madeiras e azulejos – é a que representa em termos de custos de construção, uma maior alteração na estimativa orçamental. Esta verificação mostra que, a reutilização de materiais pode ser vantajosa do ponto de vista ambiental, mas em termos económicos, revela-se que a recuperação de materiais pode ser uma atividade que implicaria elevados custos, traduzindo-se portanto, numa escolha que poderia ser ainda mais dispendiosa, devido sobretudo aos custos de mão-de-obra.

Em jeito de conclusão, este trabalho final de mestrado serviu essencialmente para compreender a importância da utilização de critérios, que permitam reduzir os consumos energéticos, emissões de CO₂, e os consequentes custos que estão inerentes à escolha e à utilização daqueles.

Neste sentido, deve-se procurar, como nas variantes estudadas, (i) optar por intervenções de demolição com manutenção de fachadas em vez de demolição integral, pois esta, através de uma maior necessidade de materiais, consome mais energia e emite maior quantidade de CO₂, (ii) materiais com grande potencial de reaproveitamento, o que permite economizar nos consumos de energia na transformação e produção de materiais. A selecção destes e de outros parâmetros, vai permitir diminuir as necessidades energéticas e as respectivas emissões de gases, o que irá reflectir em termos de poluição atmosférica.

Em termos económicos, constata-se que, se um projeto considerar o custo para a execução da obra mais a parcela correspondente ao custo de energia (custo ambiental), a fatura a pagar pela intervenção de construção de um edifício seria expressivamente mais elevada, tal como, analisando cada elemento de construção, pode afirmar-se que, conhecendo os materiais que mais contribuem para os impactes ambientais, estes apresentariam um custo ambiental mais elevado, do que aqueles que contribuem para soluções mais sustentáveis.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros que perspetivam a continuidade do trabalho desenvolvido nesta temática, que podem ser elaborados com base ou como complemento deste agora apresentado, sugerem-se algumas recomendações. Estas tem o objetivo de se traduzirem numa orientação no sentido de prosseguir com as investigações sobre a energia incorporada nos materiais de construção, especialmente no âmbito nacional. Deste modo, ao nível da investigação apresentam-se as seguintes sugestões:

- pesquisar, de forma mais aprofundada, os processos e meios envolvidos na extração de matérias-primas, produção, transporte,

aplicação, demolição e remoção dos materiais a aplicar numa construção, de modo a facilitar a quantificação da energia incorporada nos mesmos;

- desenvolver uma metodologia que permita, de modo mais preciso, estimar os consumos energéticos que estão associados aos materiais de construção, como também, os respetivos custos;
- criar bases de dados de energia incorporada, como os já existentes a nível internacional, dos materiais mais utilizados em Portugal e respetivas emissões de CO₂;
- comparar este critério de sustentabilidade entre materiais com a mesma finalidade, como por exemplo entre edifícios de serviços e edifícios residenciais, como também, entre intervenções de nova construção e de reabilitação;
- desenvolver fichas de custos de operações de conservação e/ou reabilitação (ECAACR) com a maior informação possível.

Ao nível da divulgação, salienta-se a necessidade do conhecimento e promoção dos materiais de construção com maiores potencialidades do ponto de vista de minimização do consumo de energia, isto é, com baixa energia incorporada e baixas emissões de CO₂, principalmente junto dos intervenientes das atividades da indústria da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADALBERTH, K. - *Energy use during the life cycle of building: a method*. Building a Environment, Ed., 1997.

ALCORN, A. - *Embodied Energy and CO₂ Coefficients for NZ Building Materials*. Centre for Building Performance. Victoria University of Wellington. 2003.

ANDRÉ, J. - *Estruturas de Custos Associadas a Ações de Conservação e Reabilitação*: Instituto Superior Técnico. 2008. Tese de mestrado.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - *Fatores de Conversão - Medidas utilizadas em energia elétrica*.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente - *Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050*. 2012

AUGUSTO, C. - *A metodologia da avaliação do ciclo de vida na definição de critérios de sustentabilidade em edifícios*. Universidade Lusíada, Ed., 2011. ISBN 978-989-640-086-6

BENTO, P. - *Novos edifícios – Um impacte ambiental adverso`03 P. Expo'98*, ed., 2007.

BERGE, B - *The Ecology of Building Materials*. 2.^a ed. Elsevier, Ed. 2009. ISBN 978-1-85617-537-1.

CARMODY, J., TRUSTY, W., MEIL, J., LUCUIK, M. – *Life Cycle Assessment Tool for Building Assemblies*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices. IOS Press, Ed. 2007. ISBN 978-1-58603-785-7.

CÓIAS, V. – *A paixão pela cidade antiga*. Jornal de Negócios. 2006.

CÓIAS, V. – *Reabilitação Urbana*. Revista Pedra & Cal. 2.^a ed. 1999. [Consult. 10 Outubro 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.gecorpa.pt/revista_edicao.aspx?idr=47/>.

CRUZ, R. – *Sistemas de suporte de paredes de edifícios antigos em demolição*: Instituto Superior Técnico. 2008. Tese de mestrado.

DECLARAÇÃO DE JOANESBURGO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. *Declaração de Joanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável*. 2002.

DINIS, R. - *Contributos para a reabilitação sustentável de edifícios de habitação*: Universidade Nova de Lisboa. 2010. Tese de mestrado.

DECRETO-LEI n.º 69/2000. D.R., I Série. 102 (02-05-03) 1784-1801.

DECRETO-LEI n.º 7/2002. D. R., I Série. 71 (02-03-25) 2816-2836.

EN ISO 14040:2006. 2009. *Environmental management – Life cycle assessment - Principles and framework*.

EN 1991-1-1. 2009 - *Eurocódigo 1: Ações em estruturas – Parte 1-1: Ações Gerais*. IPQ

- FARINHA, J. S.; REIS, A. C., *Tabelas Técnicas*, Edições Técnicas E.T.L., 1974
- HENRIQUES, A. - *Metodologia para cálculo das emissões de gases de efeito de estufa associadas a edifícios*: Instituto Superior Técnico. 2008. Tese de mestrado.
- HAMMOND, G.; JONES, C. - *Inventory of the Carbon & Energy (ICE) Version 1,6a*. 2008
- INE - Instituto Nacional de Estatística - *O Setor dos resíduos em Portugal*. 2010
- INE - Instituto Nacional de Estatística - *Síntese Económica de Conjuntura- Junho de 2013*. 2013
- JONH, V.; OLIVEIRA, D.; LIMA, J. – *Levantamento do estado de arte: Seleção de materiais*. 2007
- KIBERT, C. - *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery – 2*. 2.^a ed. John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-0-470-11421-6
- MANSO, A.; FONSECA, M.; ESPADA, J. - *Informação sobre custos - Fichas de Rendimentos*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2008
- LUCAS, S. - *Crítérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção*: Universidade de Aveiro. 2008. Tese de mestrado.
- MATEUS, R. - *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade na construção*: Universidade do Minho. 2006. Tese de mestrado.
- MATEUS, R. - *Avaliação da Sustentabilidade da Construção. Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis*: Universidade do Minho. 2009. Tese de doutoramento.
- MUDANÇAS CLIMÁTICAS - *Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum” - definições e princípios*. 1987.
- MURTA, A., VARUM, H. & PINTO, J. - *Proposta e verificação de soluções visando a uma construção com saldo nulo de emissões de CO₂*. Revista CIATEC – UPF. 2010, vol. 2.
- NETO, A. - *Energia incorporada e emissões de CO₂ de fachadas. Estudo de caso do Steel Frame para utilização em Brasília*: Universidade de Brasília. 2011. Tese de mestrado.
- NEVES, J.; MONTEZUMA, J.; LAIA, A. - *Análise de Investimentos Imobiliários*. 2.^a ed. Texto Editora Lda., 2010. ISBN 978-972-47-4063-8
- ONU - Organização das Nações Unidas - *A ONU e o meio ambiente*. [Consult. 20 Jul. 2013]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/>>
- ORÇAMENTOS E ORÇAMENTAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – *Ficha de rendimento - Demolição parede tijolo 11cm*. [Consult. 15 Jun. 2013]. Disponível em WWW:URL: <http://orcamentos.eu/ficha-de-rendimento-03-02-02-demolicao-parede-tijolo-11cm/>

PINHEIRO, M. - *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente, Ed., 2006. ISBN 972-8577-32X

PRESERVATION GREEN LAB. - *The Greenest Building : Quantifying the environmental value of building reuse*. 2011

SECIL - *Processo de fabrico de cimento*. [Consult. 30 Mai. 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.secil.pt/default.asp?pag=proc_fabrico/>

SENDECO₂ - *Preços de CO₂*. [Consult.13 Dezembro 2013]. 2013. Disponível em WWW:<URL:http://www.sendeco2.com/pt/precio_co2.asp?ssidi=6>

SENDECO₂ - *Comércio de CO₂*. [Consult.13 Dezembro 2013]. 2013. Disponível em WWW:<URL:<http://www.sendeco2.com/pt/comercio-co2.asp>>

SOUSA, G. – *Estruturas metálicas para contenção de fachadas*: Universidade Nova de Lisboa. 2012. Tese de mestrado.

TAVARES, S. - *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileira*: Universidade Federal de Santa Catarina. 2006. Pós-graduação.

TORGAL, F.; JALALI, S. - *Energia Incorporada em Materiais de Construção versus Energia Operacional*. Revista Internacional Construlink. 2011, vol. 9. ISSN 1645-5576

TORGAL, F.; JALALI, S. - *Seleção de materiais de construção eco-eficientes*. Parte 1. Associação de Jovens Empresários. 2011. ISSN 0873-5271

TORGAL, F.; JALALI, S. - *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*: TecMinho, Ed. 2010. ISBN 978-972-8600-22-8

TORGAL, F.; GOMES, J.; JALALI, S., - *Cimento Portland versus ligantes geopoliméricos: considerações económicas sobre as implicações do mercado do carbono no custo do betão*. Universidade da Beira Interior. 2005

ANEXOS

Anexo I – Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados na Estrutura

Anexo II – Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados nos Acabamentos

Anexo I

Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados na Estrutura

Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados na Estrutura

Proposta / Orçamento – Hotel Heritage Av. Liberdade - Estrutura			
Data:		Resp:	
Observações:			
Ref.	Descrição	Quant.	Un.
1	ESTALEIRO		
1.1	Custos de estaleiro, considerando 18 meses (mais dois meses)	1,00	vg
2	CONTENÇÃO DE FACHADA		
2.1	Fundação da contenção		
2.1.1	Verba fixa de estaleiro da especialidade	1,00	vg
2.1.2	Execução de furações verticais com 4.50m de profundidade, para cravamento de perfis HEB 160, incluindo a sua selagem	81,00	ml
2.1.3	Fornecimento de cimento para selagem de perfis e apoio à construção civil à selagem	18,00	un
2.2	Estrutura metálica		
2.2.1	Fornecimento e montagem de estrutura metálica constituída por perfis HEB 160, incluindo cortes soldaduras e grua de apoio à montagem	53.612,10	kg
2.2.2	Apoio de construção civil à montagem da estrutura metálica	1,00	vg
2.3	Reforço da contenção da fachada abaixo do Piso 0		
2.3.1	Execução de reforço e travamento das microestacas, postas a descoberto na zona de escavação, com fornecimento e montagem de estrutura metálica constituída por perfis HEB 160 e HEB 120, incluindo cortes e soldaduras	7.444,05	kg
2.3.2	Execução de travamento microestacas constituído por chumbamento de pregagens em varão de aço Ø 25 com Sikagrout às fundações do edifício e soldadura ao perfil da microestaca, por forma a garantir a estabilidade dos perfis junto à periferia do edifício	18,00	cj
3	DEMOLIÇÕES		
3.1	Fecho provisório dos vãos exteriores com alvenaria de tijolo, incluindo a sua demolição posterior e transporte de entulhos a vazadouro, nos pisos acima do 1º andar		m ²
3.2	Desmonte cuidado, carga e transporte do mobiliário existente para local a indicar pelo Dono da Obra	1,00	vg

3.3	Remoção, carga e transporte a vazadouro de entulhos existentes nos pisos	1,00	vg
3.4	Demolição da cobertura, incluindo remoção e carga de entulhos a vazadouro	198,34	m ³
3.5	Demolição da estrutura e revestimentos dos pisos, incluindo remoção e carga dos entulhos	593,98	m ³
3.6	Demolição da parede da fachada tardoz (logradouro e edifício confinante), incluindo remoção e carga dos entulhos	594,29	m ³
3.7	Transporte de entulhos a vazadouro	1.432,21	m ³
3.8	Demolição da parede da fachada Nascente sobre o edifício da ervanária	45,60	m ³
3.9	Execução de troços em reboco em alvenarias virgens na fachada do vizinho, por forma a "impermeabilizar" a referida fachada	46,80	m ²
4 ESCAVAÇÃO			
4.1	Execução de escavação geral para execução do vazio sanitário e fundações, considerando a execução da escavação na periferia em poços para execução de painéis alternado dos muros de betão, incluindo remoção, carga e transporte de terras a vazadouro	1.823,34	m ³
4.2	Escavação mecânica em abertura de maciços das microestacas em terreno de qualquer natureza, incluindo reposição, remoção e transporte a vazadouro dos produtos escavados	14,44	m ³
4.3	Escavação manual sob as fundações do edifício, para recalçar fundação das paredes das fachadas, incluindo remoção e transporte a vazadouro	54,62	m ³
5 ESTRUTURA PROJECTADA			
5.1	Betão de limpeza com 0,10m de espessura	198,50	m ²
5.2	Betão C20/25		
	Cimento	197.370,00	kg
	Brita	11,00	m ³
	Areias	542,00	m ³
5.2.1	Maciços	14,44	m ³
5.2.2	Núcleos	111,13	m ³

5.2.3	Parede de betão (inclui coeficiente de sobreconsumo de 50% agora incluído no preço)	34,36	m ³
5.2.4	Muros de betão (inclui coeficiente de sobreconsumo de 50% agora incluído no preço)	48,36	m ³
5.2.5	Pilares	60,24	m ³
5.2.6	Vigas	11,51	m ³
5.2.7	Lajes	561,08	m ³
5.2.8	Lajes de escadas	34,07	m ³
5.3	PAVIMENTO TÉRREO		
5.3.1	Execução de Pavimento Térreo incluindo compactação do terreno, laje de betão com 0,40m de espessura, enchimento de brita com 0,60m de espessura, tela de impermeabilização e massame armado com malhasol CQ30 com 0,10m de espessura		
5.3.1.1	Betão em laje de fundo	113,83	m ³
5.4	COFRAGEM		
5.4.1	Maciços	62,10	m ²
5.4.2	Núcleos	1.102,57	m ²
5.4.3	Parede de betão	343,56	m ²
5.4.4	Muros de betão	459,99	m ²
5.4.5	Pilares	681,35	m ²
5.4.6	Vigas	106,17	m ²
5.4.7	Lajes	3.248,65	m ²
5.4.8	Escada	305,36	m ²
5.5	AÇOS		
5.5.1	Maciços	1.684,98	kg
5.5.2	Núcleos	18.532,93	kg
5.5.3	Paredes de betão	10.541,54	kg
5.5.4	Muro de Suporte	9.860,50	kg
5.5.5	Pilares	21.053,35	kg
5.5.6	Vigas	2.321,23	kg
5.5.7	Lajes	76.600,21	kg

5.5.8	Escadas	3.275,66	kg
5.6	Execução de soldadura em hélice de varão Ø 12 a microestaca	72,00	un
5.7	Fornecimento e colocação de malhasol AQ50 sobre as lajes	2.189,57	m ²
5.8	DIVERSOS		
5.8.1	Fornecimento e colocação de moldes de polipropileno para aligeiramento de lajes, tipo ECOBOX com 0.75x0.75x0.20m	1.237,00	un
5.8.2	Execução de recalços onde necessário, sob as fundações do edifício existente, com enchimento em betão C20/25	54,62	m ³
5.8.3	Corte e demolição de fundações do edifício existente para execução de maciços de fundação, incluindo remoção e transporte de entulhos a vazadouro	11,00	un
5.8.4	Corte e demolição das fundações das fachadas do edifício por forma a aprumar o extradorso do muro de contenção, incluindo remoção e transporte de entulhos a vazadouro	174,90	m ²
5.8.5	Corte e demolição da viga de betão existente na empena do prédio vizinho	1,00	un
5.8.6	Corte de blocos de pedra maciça de Lioz existe no arranque do edifício com 1.20m de altura	9,00	un
5.8.7	Execução de abertura de roços para encastramento da estrutura de pilares e lajes de betão armado nas fachadas a manter, incluindo remoção, carga e transporte de entulhos a vazadouro	79,94	m ³
6	MICROESTACAS		
6.1	Remobilização de equipamento	2,00	un
6.2	Execução de microestacas, incluindo furações verticais, colocação de perfis e selagem	540,00	ml
6.3	Fornecimento de cimento para injeção seletiva considerando consumo médio de 240 kg por metro linear	540,00	ml
6.4	Apoio de construção civil à execução das microestacas	1,00	vg

Anexo II

Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados nos Acabamentos

Mapa de quantidades de parte dos materiais utilizados nos Acabamentos

Proposta / Orçamento – Hotel Heritage Av. Liberdade - Acabamentos			
Data:		Resp:	
Observações:			
Ref.	Descrição	Quant.	Un.
1	ALVENARIAS		
1.1	Alvenaria de Tijolo Cerâmico		
1.1.1	Execução de alvenaria em tijolo 30x20x7	126,2	m ²
1.1.2	Execução de alvenaria em tijolo 30x20x11	636,69	m ²
1.1.3	Execução de alvenaria em tijolo 30x20x15	433,99	m ²
1.1.4	Execução de alvenaria dupla de tijolo 30x20x7+30x20x15 -- ALTERADO para alvenaria dupla de tijolo 30x20x11+30x20x11, incluindo isolamento no interior da caixa de ar com poliestireno extrudido tipo "Walmate" com 40 mm	163,8	m ²
1.2	Paredes de gesso cartonado		
1.2.1	Execução de paredes de gesso cartonado constituída por placas 15+12.5mm+estrutura+placa Vidiwall 13 +estrutura+12.5+15mm, incluindo isolamento com lã de rocha e calços de neoprene conforme pormenores- Divisões entre quartos e quartos/corredor	1068,9	m ²
1.2.2	Execução de paredes de gesso cartonado constituídas por placas 12.5+12.5mm+estrutura+12.5+12.5mm placas hidro, incluindo isolamento com lã de rocha e calços de neoprene conforme pormenores- Divisão de I.Sanitárias com quartos	695,2	vg
1.2.3	Parede pladur por detrás das sanitas Execução de paredes por detrás das sanitas, para receber "Geberits", incluindo reforços necessários	88,8	m ²
2.1.3	Fornecimento de cimento para selagem de perfis e apoio à construção civil à selagem	18,00	un
2	CANTARIAS		
2.1	Peitos das janelas Fornecimento e assentamento de cantaria em Lioz, em tudo idêntico ao existente, para vãos novos	46,2	ml
2.2	Idem, idem, em vergas Fornecimento e assentamento de cantaria em Lioz, em tudo idêntico ao existente, para vãos novos	46,2	ml
2.3	Idem, idem em ombreiras de janelas Fornecimento e assentamento de cantaria em Lioz, em tudo idêntico ao existente, para vãos novos	110,2	ml

2.4	Idem, idem em molduras das janelas Fornecimento e assentamento de cantaria em Lioz, em tudo idêntico ao existente, para vãos novos	229,0	ml
2.5	Execução de bordadura dos pavimentos em alcatifa com 15cm de largura em moleanos - Considerou-se vidro atáje polido	390,4	ml
2.6	Execução de bordadura dos pavimentos em madeira tipo Kotibe, com 15 cm de largura em moleanos no piso térreo - Considerou-se Lioz polido com 20 cm de largura, conforme planta de pavimentos de 30/11	81,2	ml
2.7	Pavimento em pedra no Piso Térreo junto da bordadura - Considerou-se fornecimento e assentamento de ladrilhos de Lioz polido, incluindo betonilhas e colas de assentamento	32,6	m ²
2.8	Execução de revestimento dos muretes da entrada do lado da sala de estar em pedra de vidro polida - Considerou-se Lioz polido	5,9	m ²
2.9	Capeamento das paredes por detrás das sanitas - Considerou-se assentamento de peça de capeamento do "murete" de encastrar os Geberit, sendo o material (igual ao pavimento em mosaico cerâmico) a fornecer pela Decoração	63,5	ml
3 REVESTIMENTO DE PAVIMENTOS			
3.1	Cubos de madeira 5x5cm - Execução de revestimento de pavimentos com "cubos" de madeira exótica com 5cm, incluindo betonilhas e colas de assentamento	62,5	m ²
3.2	Alcatifa - Considerou-se execução de betonilha para receber alcatifa a fornecer pela Decoração	241,9	m ²
4.3	Pedra Pierre de Bourgonhe - Considerou-se assentamento de mosaico de grês a fornecer pela Decoração, incluindo-se betonilhas e colas de assentamento e betumagem	245,9	m ²
3.4	Moleanos com polimento no local - Considerou-se fornecimento e assentamento de vidro Moleanos com acabamento polido, em ladrilhos com 30x30, incluindo betonilhas e colas de assentamento	106,1	m ²
3.5	Pavimento vinílico - Considerou-se fornecimento e assentamento de pavimento em ladrilhos a fornecer pela Decoração (ficha S33), incluindo betonilhas e colas de assentamento, no Compartmento 5 do Piso -1	16,5	m ²
3.6	Pavimento madeira tipo Kotibe com 22mm de espessura e 20cm de largura considerou-se fornecimento e assentamento de pavimento em soalho de madeira de Kotibe, com 20cm de largura e 32mm de espessura	1060,2	m ²
3.7	ALTERNATIVA - Idem, idem, soalho em madeira de Jatobá ou equivalente, com 10 cm de largura e 22 mm de espessura	1060,2	m ²

3.8	Pavimento em mosaico anti-derrapante tipo "CINCA" - Fornecimento e assentamento de pavimento antiderrapante em mosaico de grês cerâmico tipo Grespor ou equivalente, com 30x30, incluindo betonilhas, colas de assentamento e betumagem	90,8 m ²
3.9	Ripado de madeira tratada - Execução de deck em madeira tratada de ipê na piscina, com tábua até 10 cm de largura e 22mm de espessura, incluindo acabamento afagado e impermeabilização com óleo apropriado	9,2 m ²
4 REVESTIMENTO DE PAREDES		
4.1	Estuque projetado - Execução de estuque projetado em paredes novas e paredes existentes	3.125,9 m ²
4.2	Azulejo branco com cercadura - Assentamento de azulejo branco tipo Cerâmica de Bicesse, com cercadura em faixa decorativa	1.120,7 m ²
4.3	Mosaico tipo "Cinca" - Fornecimento e assentamento de azulejo tipo Cinca Nova Arquitectura 20x20cm, incluindo reboco base, colas de assentamento e betumagem	350,62 m ²
4.5	Reboco em paredes exteriores	
4.5.1	Novas - Execução de reboco em paredes exteriores novas, incluindo argamassa com hidrófugante	230,2 m ²
4.5.2	Em paredes existentes - Execução de reboco em paredes existentes, incluindo picagem com remoção e transporte de entulhos a vazadouro, encasque, emboço com fibra de vidro e reboco com incorporação de hidrofugante do tipo Melitol, com afagamento à colher	308,8 m ²
5 REVESTIMENTO DE TETOS		
5.1	Teto Falso Pladur - Execução de teto falso em gesso cartonado incluindo estrutura simples de suspensão e placa de gesso cartonado standard de 13 mm, incluindo barramentos para pintar	
5.1.1	Teto Falso Pladur (não estão consideradas recaídas) - Nos tetos do piso -1, Piso 0 e todas as instalações sanitárias	964,8 m ²
5.1.2	Idem, com placa hidrófuga - Execução de estuque projetado em tetos	695,7 m ²
5.2	Estuque em tetos - Execução de estuque projetado em tetos	202,7 m ²
6 CARPINTARIAS		
6.1	Fornecimento e montagem de caixilharias em PVC, na cor branco, incluindo vidro duplo 4+16+4mm incolor com	

QUANTIFICAÇÃO DO VALOR AMBIENTAL EM EDIFÍCIOS. ESTUDO DE UM CASO PRÁTICO.

	quadricula interior branca		
6.1.1	V1 com 1.35x(variável)+1.35x1.30m	1	un
6.1.2	V1.1 com 1.35x3.06+1.35x1.30	2	un
6.1.3	V2 com 2.2x3.00m+2.2x1.33m	1	un
6.1.4	V3 com 1.35x3.05+1.35x1.31	2	un
6.1.5	V3.1 com 1.35x(variável)+1.35x1.30m	7	un
6.1.6	V4 com 2.20x1.53m - Só considerada a bandeira superior da porta de entrada principal	1	un
6.1.7	V5 com 0.80x1.20m	1	un
6.1.8	V6 com 2.60x1.20m	2	un
6.1.9	V6.1 com 2.60x1.50m	3	un
6.1.10	V7 com 1.35x2.94m	13	un
6.1.11	V8 com 1.35x2.94m	24	un
6.1.12	V9 com 1.35x2.94m	15	un
6.1.13	V10 com 1.35x1.70m	14	un
6.1.14	V11 com 1.35x1.60m	2	un
7	DIVERSOS		
7.1	Cobertura Piso 5 e Piso 6 - Considerada cobertura revestida a zinco pré-oxidado tipo "camarinha" , com o seguinte processo construtivo:- Execução de reboco dos paramentos de betão- Aplicação de poliestireno extrudido de 40 mm tipo "roofmate"	348,5	m ²