M 2021

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA PERSPETIVA DA CERTIFICAÇÃO BREEAM NA CONSTRUÇÃO

PROPOSTA DE METODOLOGIA

MARIA CAROLINA CAFFI RODRIGUES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ÁREA CIENTÍFICA

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA PERSPETIVA DA CERTIFICAÇÃO BREEAM NA CONSTRUÇÃO

Proposta de Metodologia

MARIA CAROLINA CAFFI RODRIGUES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

Coorientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JANEIRO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌍 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

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

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Os orientadores reservam-se nos direitos sobre os créditos deste documento.

À minha avó Fernanda

Sometimes when you innovate, you make mistakes. It is best to admit them quickly, and get on with improving your other innovations.

Steves Jobs

AGRADECIMENTOS

É difícil traduzir, por palavras, o sentimento de agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o culminar desta dissertação.

Aos meus pais, por sempre me apoiarem nas decisões académicas e pessoais, e depositarem em mim toda a sua confiança para levar a bom porto o meu Mestrado Integrado.

Ao Frederico, pelas constantes palavras motivadoras e, principalmente, pela ajuda incansável neste projeto que me permite terminar o ciclo de estudos na FEUP.

Ao Professor Doutor Rui Calejo, pelas palavras sábias que tanto contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação. Toda a sua experiência e idoneidade são de facto um privilégio tanto para mim, como para o leitor.

À Professora Doutora Maria Helena Corvacho, pelo apoio suplementar e pelas valiosas propostas de melhoria, sem as quais o trabalho pecaria por incompleto.

Ao Engenheiro Rui Garcia, por me proporcionar o contacto com uma privilegiada obra de engenharia civil e por me ter dado novas perspetivas quanto aos mais variados temas de engenharia.

RESUMO

A atividade da construção é responsável por uma parte significativa das emissões de dióxido de carbono, o que permite afirmar que há um problema de sustentabilidade relacionado com as obras de engenharia civil. Para que a avaliação da sustentabilidade seja independente do promotor responsável pela construção, definem-se vários indicadores e certificações tanto a nível nacional (LiderA, SBTool PT) como internacional (BREEAM, LEED). Estas certificações centram-se na Análise do Ciclo de Vida (ACV) para identificar o comportamento ambiental dos edifícios, pressionando as equipas responsáveis a tomar decisões mais sustentáveis e, consequentemente, diminuir a pegada ecológica em serviço.

Realizar a ACV na construção não é um processo simples, na medida em que reúne conceitos de engenharia civil e de ambiente, que nem sempre são possíveis de conciliar. Os profissionais que exercem engenharia civil não têm formação para realizar os cálculos específicos da Pegada de Carbono dos materiais. Acresce ainda que a maioria dos materiais utilizados não apresentam valores tabelados relativos aos seus consumos ou ao carbono equivalente que emitem. Estes fatores condicionam a falta de informação disponível e a disparidade dos dados. Compreende-se que é necessário desenvolver metodologias estruturadas e organizadas que se enquadrem nos procedimentos que existem atualmente, quer associados a tabelas quer a plataformas.

Neste sentido, como apoio à atividade em engenharia civil, propõe-se uma metodologia à base de dois processos: um Método Expedito e um Método Detalhado. O primeiro é fundamentado na consulta de tabelas e, além disso, permite também reunir informações para o Método Detalhado. Este último é baseado na utilização de plataformas e, no caso concreto, recorre à plataforma *One Click LCA*.

A aplicação da metodologia a um caso de estudo, que consiste numa obra de engenharia civil que se acompanhou durante três meses, permite retirar conclusões pertinentes acerca da ACV na construção. Tanto o Método Expedito como o Detalhado são sensíveis à utilização do operador devido, essencialmente, aos aspetos optativos de cada um dos métodos. Os dados constantes de tabelas e de plataformas não coincidem no tempo de vida útil. A grande maioria das plataformas disponíveis, para o cálculo da ACV, são internacionais e não apresentam nenhum tipo de correspondência entre os materiais nelas constantes e os nacionais. Adicionalmente, são reduzidos os materiais nacionais que apresentam DAP's (Declaração Ambiental de Produto) ou documentação técnica com informações necessárias para constarem nas bases de dados. Todos estes aspetos condicionam os resultados finais obtidos e provocam informações dispares.

PALAVRAS-CHAVE: Análise do Ciclo de Vida, Metodologias de Avaliação de Sustentabilidade, *One Click LCA*, Pegada de Carbono, Sustentabilidade

ABSTRACT

Construction sector is responsible for a significant amount of carbon dioxide emissions, which allows to affirm that there is a sustainability problem related to civil engineering works. In order that sustainability evaluation becomes independent from the promoter responsible for the construction work, several national (LiderA, SBTool PT) and international (BREEAM, LEED) indicators and certifications are defined. These certifications main focus is the Life Cycle Analysis (LCA) to identify the environmental behavior of the buildings, pressuring the responsible teams to make the most sustainable decisions and consequently reduce ecological footprint.

Performing the LCA in construction is not a simple process, since it gathers civil and environmental engineering concepts, which are not always possible to be conciliated. Civil engineering professionals are not trained to carry out specific calculations of the Carbon Footprint of the materials. In addition, the majority of the used materials do not exhibit the charted values related to their consumption or the emitted carbon. These factors constraint the lack of information available and the disparity of data. It is understood that it is necessary to develop structured and organized methodologies that fit on the current procedures, either associated with charts or platforms.

In this sense, as a support to the civil engineering, it is proposed a two process methodology: an Expedite Method and a Detailed Method. The first one is based on querying charts and, above that, also allows to gather information for the Detailed Method. This last one is based in the use of platforms and, in this case, it works using the platform One Click LCA.

The appliance of the methodology to the case study, that consists in a civil engineering work monitored for three months, allows to draw relevant conclusions about the LCA in construction. Both Expedite and Detailed methods are sensitive to the use of the operator due essentially to the optional aspects of each of the methods. The data from the charts and platforms do not overlap on the useful lifetime. The majority of the available platforms for LCA's calculation are international and do not feature any type of correspondence between their materials and the national ones. Additionally, the national materials that feature Environmental Product Declaration (EPD) or technical documentation with the necessary information to be in the database are reduced. All of these aspects constraint the final results obtained and cause disparate information.

KEYWORDS: Life Cycle Analysis, Evaluation Methodologies of Sustainability, One Click LCA, Carbon Footprint, Sustainability

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. INTRODUÇÃO 1
1.2. ENQUADRAMENTO 2
1.3. PROBLEMÁTICA 4
1.4. OBJETIVOS 5
1.5. ÂMBITO 6
1.6. MÉTODO 6
1.7. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 7

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 9
2.1. INTRODUÇÃO 9
2.2. SUSTENTABILIDADE 9
2.2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10
2.2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL 11
2.3. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS 12
2.4. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA 13
2.4.1. VARIANTES DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA 14
2.5. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO 15
2.5.1. BREEAM 16
2.6. ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS 18
2.7. BIBLIOMETRIA 19

3. EMPRESA DE ACOLHIMENTO E OBRA CASO DE ESTUDO 23
3.1. INTRODUÇÃO 23
3.2. EMPRESA DE ACOLHIMENTO 23
3.3. OBRA CASO DE ESTUDO 26

4. METODOLOGIA PROPOSTA 31

4.1. INTRODUÇÃO 31

4.2. METODOLOGIA PROPOSTA PARA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO 33

4.2.1. MÉTODO EXPEDITO: PRIMEIRA FASE - ANÁLISE E PREPARAÇÃO DOS DADOS DO MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES 34

4.2.2. MÉTODO DETALHADO: SEGUNDA FASE - UTILIZAÇÃO E PREENCHIMENTO DO FICHEIRO EXCEL A SUBMETER NA PLATAFORMA *ONE CLICK LCA* 43

4.2.3. MÉTODO DETALHADO: TERCEIRA FASE - UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA *ONE CLICK LCA* 51

4.2.4. CONSIDERAÇÕES E PROPOSTAS DE MELHORIA 67

4.2.4.1. Classificação do Tipo de Material 67

4.2.4.2. Conversão de Unidades para Quilograma 70

4.2.4.3. Atribuição dos Coeficientes de Carbono ($kgCO_2eq/kg$) 71

4.2.4.4. Tabela dinâmica e Definição genérica do material 74

4.2.4.5. Transporte 75

4.3. SÍNTESE 77

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 79

5.1. INTRODUÇÃO 79

5.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA 80

5.2.1. MÉTODO EXPEDITO: PRIMEIRA FASE - ANÁLISE E PREPARAÇÃO DOS DADOS DO MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES 80

5.2.2. MÉTODO DETALHADO: SEGUNDA FASE - UTILIZAÇÃO E PREENCHIMENTO DO FICHEIRO EXCEL A SUBMETER NA PLATAFORMA *ONE CLICK LCA* 88

5.2.3. MÉTODO DETALHADO: TERCEIRA FASE - UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA *ONE CLICK LCA* 93

5.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE 103

5.3.1. MÉTODO EXPEDITO 103

5.3.2. MÉTODO DETALHADO: PLATAFORMA *ONE CLICK LCA* 106

5.3.3. SÍNTESE DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE 108

6. SÍNTES E CONCLUSÕES 111

6.1. SÍNTESE 111

6.2. CONCLUSÃO 112

6.3. PROPOSTAS DE MELHORIA E DESENVOLVIMENTO FUTURO 114

6.3.1. PROPOSTAS DE MELHORIA 114
6.3.2. DESENVOLVIMENTO FUTURO 115

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 117
ANEXO 1 ..... A1-1
ANEXO 2 ..... A2-1
ANEXO 3 ..... A3-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Temas da certificação BREEAM e, assinalados a vermelho, os necessários para realizar a ACV 3

Figura 2 - Subcapítulos dos temas *Management* (Man), *Materials* (Mat) e *Waste* (Wst) e, assinalados a vermelho, os do âmbito desta dissertação 3

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de investigação 7

Figura 4 - Evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo a expressão "construção sustentável" no título, no resumo e nas palavras-chave [3] 11

Figura 5 - Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável 12

Figura 6 - Fases do ciclo de vida de um edifício 13

Figura 7 - Variantes da ACV [17] 14

Figura 8 - Selo da certificação BREEAM [1] 18

Figura 9 - Carbono incorporado no ciclo de vida de um edifício 19

Figura 10 - Número de publicações científicas analisadas por ano 21

Figura 11 - Número de publicações científicas analisadas por tema 21

Figura 12 - Distribuição, em percentagem, dos tipos de projeto da empresa de acolhimento 24

Figura 13 - Distribuição, em percentagem, dos projetos da empresa de acolhimento por categoria 24

Figura 14 - Modelo de trabalho da empresa de acolhimento, adaptado pela autora [30] 25

Figura 15 - Dados da empresa de acolhimento atualizados no ano 2019 [30] 25

Figura 16 - Mapa com indicação dos países onde a empresa desenvolveu atividade [30] 25

Figura 17 - Plano de trabalhos da Obra Caso de Estudo e, assinalado pelas linhas azuis verticais, o período de permanência em obra da autora [31] 26

Figura 18 - Planta de fundações da Nave e da parte administrativa [32] 27

Figura 19 - Cortes do bloco social e administrativo [32] 27

Figura 20 - Legenda das Figura 18 e Figura 19 [32] 28

Figura 21 - Imagem 3D da Nave e, assinalados a tracejado preto, os dois eixos de simetria do edifício [33] 28

Figura 22 - Organograma funcional da empreitada e, assinalado a vermelho, a posição da autora 29

Figura 23 - Objetivo da ACV de edifícios, de acordo com as normas produzidas pelo CEN/TC350 [35] 32

Figura 24 - Fluxograma da metodologia proposta para ACV na construção 33

Figura 25 - Primeira etapa do Método Expedito 34

Figura 26 - Segunda etapa do Método Expedito 35

Figura 27 - Fluxograma Conversão de unidades do MTQ para kg 36

Figura 28 - Excerto da FT de Inertol F [36] 37
Figura 29 - Excerto da FT de Conduta Circular [38]....39
Figura 30 - Fluxograma Conversão de Unidades do MTQ para kg....40
Figura 31 - Terceira etapa do Método Expedito 40
Figura 32 - Quarta etapa do Método Expedito 41
Figura 33 - Primeira etapa da 2ª Fase, Método Detalhado 43
Figura 34 - Segunda etapa da 2ª Fase, Método Detalhado 45
Figura 35 - Terceira etapa da 2ª Fase, Método Detalhado 47
Figura 36 - Quarta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado 48
Figura 37 - Quinta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado....49
Figura 38 - Sexta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado 49
Figura 39 - Esquema síntese do preenchimento do ficheiro Excel 51
Figura 40 - Primeira etapa da 3ª Fase, Método Detalhado 51
Figura 41 - *Create a design* (Criar um projeto)....52
Figura 42 - Opções disponíveis na plataforma e assinaladas as selecionadas para o projeto....52
Figura 43 - Segunda etapa da 3ª Fase, Método Detalhado 52
Figura 44 - *Data: Choose file to import* (Escolher o ficheiro a importar) 53
Figura 45 - *Settings* (Configurações)....53
Figura 46 - *Filtering settings*: Opções disponíveis pela plataforma e assinalada a selecionada para o projeto....53
Figura 47 - *Classify* (Classificação) 54
Figura 48 - *Filter* (Filtro)....54
Figura 49 - *Combine* (Agrupamento)....55
Figura 50 - *Review* (Revisão) 55
Figura 51 - *Mapping* (Correspondência)....56
Figura 52 - DAP Habitat [41] 57
Figura 53 - Correspondência de um dos produtos do MTQ 57
Figura 54 - Terceira etapa da 3ª Fase, Método Detalhado 58
Figura 55 - Esquema das etapas da plataforma *One Click LCA*....58
Figura 56 - Primeira etapa da plataforma *One Click LCA* 58
Figura 57 - *Building materials* (Materiais de Construção) 59
Figura 58 - Segunda etapa da plataforma *One Click LCA* 59
Figura 59 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), primeira etapa 60
Figura 60 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), segunda etapa 60

Figura 61 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), terceira etapa 61
Figura 62 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), quarta etapa 61
Figura 63 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), quinta etapa 61
Figura 64 - Terceira etapa da plataforma *One Click LCA* 61
Figura 65 - *Water consumption, anual* (Consumos anuais de Água) 62
Figura 66 - Quarta etapa da plataforma *One Click LCA* 62
Figura 67 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), primeira etapa 62
Figura 68 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), segunda etapa 63
Figura 69 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), terceira etapa 63
Figura 70 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), quarta etapa 64
Figura 71 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), quinta etapa 65
Figura 72 - Quinta etapa da plataforma *One Click LCA* 66
Figura 73 - *Building area* (Área do Edifício) 66
Figura 74 - Sexta etapa da plataforma *One Click LCA* 66
Figura 75 - *Calculation period* (Período de Cálculo) 67
Figura 76 - Quarta etapa da 3ª Fase, Método Detalhado 67
Figura 77 - Filtro, a colocar no MTQ, para realizar o exemplo em questão 74
Figura 78 - Gráfico da quantidade de “Material 1”, por tipo de material, de forma decrescente 81
Figura 79 - Gráfico da quantidade de “Material 2”, por tipo de material, de forma decrescente 81
Figura 80 - Distribuição das unidades do MTQ da obra caso de estudo 85
Figura 81 - Distribuição das dez categorias mais influentes na classificação BREEAM, de forma decrescente 89
Figura 82 - Distribuição das catorze categorias menos influentes na classificação BREEAM, de forma decrescente 89
Figura 83 - Percentagens associadas a cada uma das seis categorias 94
Figura 84 - Categoria: Fundações e subestrutura 94
Figura 85 - Categoria: Estrutura vertical e fachada 95
Figura 86 - Categoria: Estruturas horizontais: vigas, pisos e coberturas 95
Figura 87 - Categoria: Outras estruturas e materiais 96
Figura 88 - Categoria: Áreas exteriores e elementos do local 96
Figura 89 - Categoria: Tecnologia do Edifício 97
Figura 90 - Pegada de Carbono calculada pela plataforma *One Click LCA* 102
Figura 91 - *Benchmark* de carbono incorporado 102
Figura 92 - Percentagem de carbono incorporado por etapa do Ciclo de Vida 103

Figura 93 - Dispersão dos resultados do Método Expedito e do Método Detalhado 110
Figura 94 - Conclusão do trabalho efetuado 112
Figura 95 - Metodologia proposta.....113
Figura 96 - Desenvolvimento Futuro 116

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Análise bibliométrica 20
Tabela 2 - Classificação do tipo de material 34
Tabela 3 - Exemplo 1 retirado do MTQ para realizar a Classificação do tipo de Material 35
Tabela 4 - Exemplo 2 retirado do MTQ para a realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg 36
Tabela 5 - Exemplo 3 retirado do MTQ para a realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg 37
Tabela 6 - Peso volúmico utilizado por tipo de material [37] 38
Tabela 7 - Exemplo 4 retirado do MTQ para realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg 38
Tabela 8 - Coeficientes de Carbono por tipo de material 41
Tabela 9 - Exemplo 1 retirado do MTQ para realizar a Estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono 42
Tabela 10 - *BREEAM International Classification* 44
Tabela 11 - *IFC Class* 45
Tabela 12 - Associação entre *BREEAM International Classification* e *IFC Class (One Click LCA)* 46
Tabela 13 - Excerto da Tabela Dinâmica relativa a todo o MTQ 47
Tabela 14 - Exemplo 5 retirado do MTQ para realizar a Definição genérica 48
Tabela 15 - Excerto do ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA* 50
Tabela 16 - Média de resíduos produzidos pela empresa de acolhimento 64
Tabela 17 - Distribuição do tipo de resíduos da empresa executante 65
Tabela 18 - Classificação do tipo de material com acréscimo das sugestões de melhoria, sublinhadas a cinzento 70
Tabela 19 - Peso volúmico por tipo de Material, com acréscimo das sugestões de melhoria, sublinhadas a cinzento [37] 71
Tabela 20 - Coeficientes de Carbono mediante as classes de betão e a percentagem de agregado reciclado 73
Tabela 21 - Percentagem de pontos alcançados e créditos conseguidos, através do BREEAM Mat 01 [1] 75
Tabela 22 - Tipo de “Material 1” e a quantidade associada a cada classificação 80
Tabela 23 - Tipo de “Material 2” e a quantidade associada a cada classificação 81
Tabela 24 - Tipo de “Material Remanescente” e a quantidade associada a cada classificação 82
Tabela 25 - Quantidade dos três Tipos de Material 82
Tabela 26 - Tipo de “Material 2” e “Material Remanescente” utilizados mediante o tipo de “Material 1” 82
Tabela 27 - Percentagens atribuídas ao tipo de “Material 1” 83

Tabela 28 - Percentagens atribuídas ao tipo de “Material 2” 84

Tabela 29 - Percentagens atribuídas ao tipo de “Material Remanescente” 84

Tabela 30 - Unidades do MTQ mediante o tipo de material.....85

Tabela 31 - Pegada de Carbono por tipo de “Material 1” 86

Tabela 32 - Pegada de Carbono por tipo de “Material 2” 86

Tabela 33 - Pegada de Carbono por Tipo de “Material Remanescente”.....87

Tabela 34 - Pegada de Carbono associada a cada tipo de material.....87

Tabela 35 - Peso associado a cada item de *BREEAM International Classification* 88

Tabela 36 - Comparação entre a Pegada de Carbono e o Peso mediante a *BREEAM International Classification* 90

Tabela 37 - Tabela dinâmica relativa a todo o MTQ 91

Tabela 38 - Consumo de Eletricidade no estaleiro.....98

Tabela 39 - Consumo de *Diesel* no estaleiro 98

Tabela 40 - Valores observados no contador de água.....99

Tabela 41 - Quantidade de água transportada para o estaleiro.....99

Tabela 42 - Extrapolação para obter o consumo final de água no estaleiro 100

Tabela 43 - Extrapolação para obter a quantidade final de resíduos produzidos no estaleiro.....100

Tabela 44 - Média de resíduos produzidos na obra caso de estudo.....100

Tabela 45 - Distribuição do tipo de resíduos na obra caso de estudo 101

Tabela 46 - Coeficientes de Carbono mínimos, por tipo de material [39] 105

Tabela 47 - Coeficientes de Carbono máximos, por tipo de material [39].....105

Tabela 48 - Dispersão dos valores obtidos através do Método Expedito (Coeficientes de Carbono) 106

Tabela 49 - Excerto das modificações no Cenário Favorável e no Cenário Desfavorável - *One Click LCA*.....107

Tabela 50 - Dispersão dos valores obtidos através do Método Detalhado (plataforma *One Click LCA*) 108

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

cj - Conjunto

ha - Hectare

kg - Quilograma

$kgCO_2eq$ - Quilograma de dióxido de carbono equivalente

m - Metro

m^2 - Metro quadrado

m^3 - Metro cúbico

ml - Metro linear

un - Unidade

vg - Valor Global

ACV - Análise do Ciclo de Vida

BIM - Building Information Modeling

BRE - Building Research Establishment

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CEN - European Committee for Standardization

CIB - Concelho International da Construção

CO_2 - Dióxido de carbono

DAP - Declaração Ambiental de Produto

eGAR - Guias Eletrónicas de Acompanhamento de Resíduos

Ene - Energy

FT - Ficha Técnica

GEE - Gases com Efeito de Estufa

GWP - Global Warming Potencial

Hea - Health and wellbeing

ICE - Inventory of Carbon and Energy

IFC - Industry Foundation Classes

iiSBE - International Initiative for the Sustainable Built Environment

ITB - Building Research Institute

LCA - Life Cycle Analysis

LE - Land use and ecology

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

LFTC-UM - Laboratório de Física e Tecnologia da Construção - Universidade do Minho

LiderA - Liderar pelo Ambiente

Man - Management

Mat - Materials

MTQ - Mapa de Trabalhos e Quantidades

Pol - Pollution

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

SBTool PT - Sustainable Building Tool for Portugal

Tra - Transport

Wat - Water

Wst - Waste

1
INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação consiste num trabalho integrado nas tarefas necessárias para a conclusão do curso Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Ao longo do ciclo de estudos, foi sensível a uma ou outra unidade curricular que pontualmente abordou questões de sustentabilidade e de preocupação ambiental. No entanto, não existiu uma unidade curricular que se assumisse fornecendo os conhecimentos de base deste domínio, pelo que foi necessário evoluir ao nível do conhecimento para consolidar conceitos que estavam dispersos por várias disciplinas.

A palavra sustentável advém, etimologicamente, do latim *sustentare* que significa sustentar, apoiar, cuidar ou manter. Deste modo, sustentabilidade é a capacidade de conservar um processo ou sistema e aborda o modo como se deve agir em relação à natureza.

O setor da construção civil tem um papel crucial no desenvolvimento de um país, porém é também a indústria da construção que consome mais recursos naturais. Este setor gera inúmeros impactes nos processos de desflorestação para criar espaço para as edificações, nos movimentos de terra nos locais, na produção de materiais e nos consumos de água e energia elétrica na fase de construção.

Vários autores, discriminadamente referenciados no Capítulo 2, estimam que as construções consomem grande parte dos recursos naturais disponíveis e, aproximadamente, 15% dos recursos hídricos, a nível mundial. Além disso, cerca de 40% da energia mundial é consumida pelos edifícios e ainda, cerca de 30 a 40% das emissões de dióxido de carbono (CO_2) são provocadas pelo setor da construção. Deste modo, pode-se concluir que a indústria da construção tem grande impacte ambiental.

Muitos dos impactes mencionados são necessários para que a indústria evolua e se desenvolva a nível económico e tecnológico. No entanto, existem tantos outros que poderiam ser evitados e consequentemente contribuírem para a sustentabilidade. Assim, é importante que em fase de projeto se conheçam todos esses efeitos de modo a que se otimizem as diferentes obras minimizando-os. Com a crescente urbanização dos diversos espaços, torna-se prudente adotar cada vez mais medidas relacionadas com a sustentabilidade para garantir qualidade de vida às gerações presentes e futuras.

Quando são aplicados princípios de sustentabilidade nos projetos, as construções geram consideravelmente menos impactes para o meio ambiente pois, desde a fase inicial, todas as decisões são pensadas de modo a consumirem menos recursos hídricos, energéticos e naturais. Acrescente-se ainda que a seleção criteriosa dos materiais a utilizar nas obras contribui significativamente para uma construção mais sustentável. Em suma, é possível diminuir os impactes ambientais provocados pelo setor da construção, o que depende apenas do planeamento, da motivação do projeto e da sua execução, e ainda da sua utilização.

1.2. ENQUADRAMENTO

Reforçando o que foi mencionado anteriormente, os edifícios consomem mais de um terço da energia utlizada a nível mundial e, por esse mesmo motivo, as certificações ambientais assumem uma elevada importância no setor da construção, principalmente no que diz respeito à otimização energética. As certificações surgem da necessidade de se dispor de meios e padrões fixos, rigorosos e reconhecidos para identificar o comportamento ambiental dos edifícios e pressionar as equipas responsáveis a tomar decisões mais sustentáveis.

Sendo assim, define-se certificação como o processo no qual, através do recurso a uma entidade externa e independente à organização, é reconhecido o cumprimento de determinados requisitos previamente especificados. Através desta prática é possível atribuir confiança e credibilidade a este processo.

Em suma, a importância de existir uma certificação independente do organismo que promova a diminuição da pegada ecológica em serviço, e que contribua de forma eficaz para a redução dos efeitos negativos derivados do setor da construção, são duas das preocupações mais relevantes atualmente.

O problema mencionado pode ser abordado do ponto de vista social, cultural e histórico. A preocupação ambiental está cada vez mais evidenciada na sociedade, mostrando-se a maioria dos cidadãos sensíveis com as questões que desse tema advêm. A crescente informação acerca dos malefícios que as gerações futuras irão encontrar no planeta, despertou na sociedade atual uma maior vontade de criticar práticas que não sigam padrões sustentáveis. Por outro lado, a cultura de haver cuidado e preocupação com o meio ambiente foi surgindo e implementando-se ao longo de várias décadas, conseguindo moldar os pensamentos e forma de agir da população. A necessidade da existência de uma certificação surge da suspeita e desconfiança, por parte da sociedade, ao longo de vários anos, na dificuldade que sente em dar credibilidade às diversas empresas que afirmam, sem a devida comprovação, o recurso a materiais e serviços ambientalmente não prejudiciais.

Acrescente-se ainda que os pedidos de certificação tornam-se mais comuns em obras cujos clientes são instituições internacionais, pois têm a necessidade de demonstrar durante a sua atividade que os edifícios onde a exercem têm características positivas a nível ambiental e, sendo assim, mais apelativos para a população em geral.

Nesta dissertação é abordado o sistema de certificação voluntário que surgiu na década de 90 no Reino Unido denominado como *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM). Este sistema avalia as ações realizadas com o intuito de as melhorar, com base na análise de vários aspetos de um edifício, como por exemplo: a poupança de energia, o uso de água, a redução das emissões de CO_2, a melhoria interna da qualidade ambiental e a gestão de recursos.

Com o passar das décadas, este certificado tem vindo a ser cada vez mais procurado no setor da construção por promover uma construção mais sustentável que resulta em benefícios económicos, ambientais e sociais para todas as pessoas vinculadas ao edifício. Acresce ainda que, não só o imóvel, mas também as empresas responsáveis pela obra, sofrem uma valorização que é tanto reconhecida pelo mercado como pela sociedade.

Por outro lado, podem ser enumeradas certificações ambientais a nível nacional como, por exemplo, Liderar pelo Ambiente (LiderA) e *Sustainable Building Tool for Portugal* (SBTool PT), o que leva a autora a questionar o porquê de, em Portugal, não se recorrer a essas e utilizarem-se certificações internacionais. Assim sendo, demonstrada a robustez, a segurança e o padrão internacional da certificação BREEAM, compreende-se o recurso e a preferência da utilização da mesma ao invés de uma determinada certificação que apenas é reconhecida no seu próprio país e a qual não irá permitir realizar comparações entre edifícios e a classificação obtida pela certificação.

Refere-se ainda que um dos passos necessários para qualquer certificação de sustentabilidade é realizar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) que na área da construção levanta um conjunto de dificuldades objeto desta dissertação.

Ademais, é importante enquadrar o leitor que os capítulos que advêm abordam a ACV na perspetiva da certificação BREEAM, ou seja, a presente dissertação foca-se em desenvolver uma metodologia e aplicá-la a uma obra de construção que pretende obter o certificado mencionado. Deste modo, só é possível receber a validação por parte da entidade BREEAM caso se efetue a ACV aplicando rigorosamente o método e as suas técnicas, devidamente especificadas pelo manual da certificação.

Acrescente-se que se apresenta, na Revisão Bibliográfica (Capítulo 2), uma explicação detalhada sobre a certificação BREEAM e os pontos que a mesma aborda. No entanto, é relevante notar, desde já, que dos nove temas diferentes que a mesma exige, a autora foca-se em três relacionados com *Management* (Man) - Gestão, *Materials* (Mat) - Materiais e *Waste* (Wst) - Resíduos, assinalados a vermelho na Figura 1. [1] Os três temas referidos são necessários para compreender a metodologia proposta para realizar a ACV exigida pelo BREEAM.

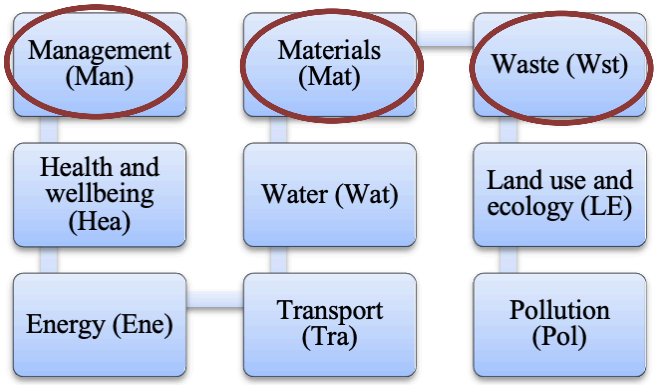


Figura 1 - Temas da certificação BREEAM e, assinalados a vermelho, os necessários para realizar a ACV

Cada um dos três capítulos expostos está divido em diversos subcapítulos, dos quais nem todos são do domínio da engenharia civil e, por esse mesmo motivo, compreendem assuntos que se considera estarem fora do âmbito desta dissertação. Assim, assinala-se a vermelho, na Figura 2, os que correspondem a temas cruciais para realizar a ACV no âmbito da engenharia civil, e apresentam-se os restantes.

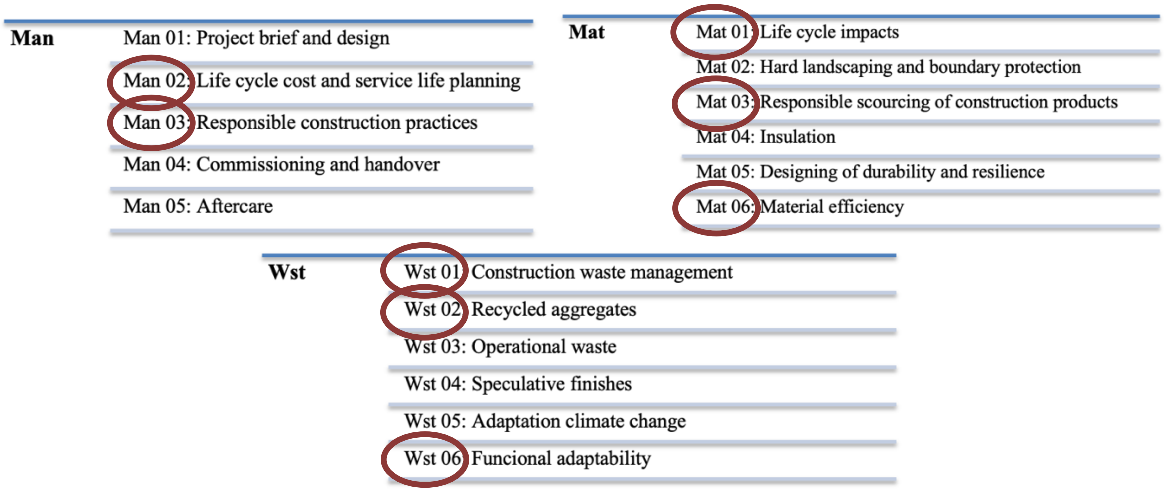


Figura 2 - Subcapítulos dos temas *Management* (Man), *Materials* (Mat) e *Waste* (Wst) e, assinalados a vermelho, os do âmbito desta dissertação

1.3. PROBLEMÁTICA

Torna-se importante referir que as palavras "ciclo de vida" podem induzir em erro o leitor por, através destas, se depreender que estão associadas apenas ao tempo de vida útil dos componentes. Na verdade, realizar a ACV na perspetiva da certificação BREEAM, consiste essencialmente em avaliar a produção de carbono associada aos materiais utilizados. Naturalmente que as emissões de CO_2 obtidas como resultado da análise têm em consideração o período de utilização do edifício e, por conseguinte, a vida útil dos materiais que o constituem provocam implicações ao nível da Pegada de Carbono.

A problemática da presente dissertação foca-se na metodologia da ACV que, para obras de engenharia civil, é dispersa e não se encontra devidamente estruturada. Face à ausência de um método específico, que não implique o recurso a determinados *softwares*, pretende-se desenvolver e propor uma forma de agir expedita, que permita a todos os profissionais da área, de um modo relativamente simples, calcular a Pegada de Carbono de uma determinada obra de engenharia civil. Deste modo, o Capítulo 4 contém justamente a explicação detalhada do Método Expedito proposto.

A utilização de plataformas específicas para determinar a ACV é estritamente necessária nos casos em que se pretende obter uma certificação. Sendo assim, o recurso a *softwares* não pode ser excluído e, como para a obra caso de estudo é exigida a certificação BREEAM, utiliza-se a plataforma *One Click LCA* que permite realizar a ACV mediante as técnicas definidas pela certificação mencionada.

Relativamente ao uso de plataformas internacionais, um dos principais problemas está associado ao facto das mesmas não estarem adaptadas para a realidade nacional, ou seja, contêm na sua base de dados apenas uma ínfima quantidade de produtos portugueses, o que não permite obter valores estritamente precisos. Deste modo, é necessário estabelecer pressupostos e considerações para analisar os materiais disponíveis e selecionar os que são mais semelhantes com os utilizados nas obras em Portugal.

Refere-se ainda que a grande maioria dos *softwares* apresenta limitações no que diz respeito à quantidade de materiais possíveis a introduzir, ou seja, é provável que nem todos os itens de um Mapa de Trabalhos e Quantidades (MTQ) consigam garantir a sua presença na plataforma. Ainda assim, é novamente necessário estabelecer um padrão ou uma determinada regra para que, de certo modo, todos sejam tidos em consideração na análise ou, pelo menos, toda a sua massa.

Considera-se importante mencionar que, apesar de se recorrer a uma determinada plataforma, é ainda necessário definir uma metodologia para analisar e estruturar os dados provenientes do MTQ, metodologia essa que está ao critério do executante e não sugerida pelo *software*. Em suma, encontra-se de novo uma outra situação em que é relevante estabelecer um método de análise com as devidas considerações que o mesmo implica.

Contudo, um determinado método expedito apenas pode ser apurado e melhorado se se conhecerem com precisão os resultados que são obtidos através dos *softwares*. Melhor explicando, este tipo de métodos pretende substituir ou igualar o uso das plataformas, nos casos que assim for possível e, para tal, quem o cria precisa de ter conhecimento acerca dos fatores que são tidos em consideração nos *softwares* e tentar colocá-los a intervir no método expedito.

O recurso a métodos expeditos pode induzir a incertezas acumulativas na medida em que estes são realizados através de bases de dados disponíveis nos meios digitais. Com efeito, surge novamente o primeiro problema identificado, ou seja, a grande maioria das bases de dados não contêm exatamente os materiais utilizados em obra e é então necessário selecionar idênticos através de um determinado critério definido.

Na verdade, é fundamental realizar uma comparação entre os métodos expeditos e os disponíveis em *softwares* reconhecidos no mercado. Compreender os resultados que se obtêm através de cada um, e

analisá-los de forma crítica, é deveras o principal ponto de partida para conseguir retirar conclusões relativamente à eficácia e aplicabilidade de ambos.

Selecionar os autores e as fontes que devem ser utilizadas é uma tarefa árdua, no sentido em que são inúmeros os valores tabelados associados a pesos volúmicos, consumos por quilograma e coeficientes de carbono dos materiais. Deve-se realizar o estudo de forma coerente e ser criterioso na seleção. Acrescente-se ainda que as Declarações Ambientais de Produto (DAP's) são uma tentativa de disponibilizar dados de forma normalizada e devem ser pesquisadas e utilizadas.

A prática profissional comum é recorrer a tabelas que não estão adaptadas à realidade nacional ou que contêm valores de proveniência desconhecida. Consequentemente, é necessário arbitrar diversos parâmetros para que se consiga avançar com a análise. O cerne da questão consiste, essencialmente, em utilizar o mesmo critério ao longo do desenvolvimento do método para se conseguir diminuir as incertezas associadas.

Por fim, realizar uma comparação entre os resultados obtidos de cada método permite compreender as suas vantagens e as fases em que ambos devem ser utilizados.

1.4. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um estudo de ACV de um edifício industrial na perspetiva da certificação BREEAM com recurso a dois métodos, ambos originais da autora. O Método Expedito estrutura os dados provenientes do MTQ e obtém como resultado final a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono da obra em estudo. O Método Detalhado calcula a Pegada de Carbono da obra, tendo em consideração os consumos do estaleiro e do edifício, recorrendo à plataforma internacional *One Click LCA*, necessária para obtenção da certificação BREEAM.

Visto que é necessário identificar uma vasta quantidade de coeficientes, pretende-se analisar a dispersão dos resultados de cada um dos métodos, identificando entre que valores podem oscilar, com a utilização de três cenários distintos: um "favorável", outro "ponderado" e, por fim, um "desfavorável".

Refere-se ainda que, realizar a análise de sensibilidade mencionada no parágrafo anterior, só é conclusiva se se proceder a uma comparação estruturada entres os resultados retirados dos dois métodos. Por fim, a operacionalidade deste estudo é testada através de um caso prático onde é possível a sua aplicação.

Para realizar a metodologia proposta, é necessário proceder à compilação da informação relativa a materiais de construção da obra em estudo e determinar os impactes provenientes da manutenção de equipamentos e de recursos, nomeadamente de energia, água, combustível e emissões de CO_2. O estudo dos impactes dos recursos mencionados é analisado nas seguintes fases:

- Produção dos materiais de construção, onde são identificados materiais com DAP's e utlizadas bases de dados livres para o cálculo dos omissos.
- Aprovisionamento e construção do edifício, realizando a quantificação dos recursos utilizados (energia, água e combustível) incluindo os transportes dos materiais para a obra e equipamentos de obra e, por fim, a quantificação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) nas Guias Eletrónicas de Acompanhamento de Resíduos (eGAR).
- Estimativa dos impactes dos recursos durante a utilização, recorrendo a valores aproximados de consumo e valores de projeto ao nível da água, térmica, iluminação e energia necessária para a produção corrente da indústria.

Em suma, os diversos objetivos apresentados permitem ao leitor ter conhecimento do que é abordado nos seguintes capítulos e, dessa forma, obter um modelo de ACV para utilização futura noutros edifícios com características que sejam consideradas apropriadas e enquadradas na metodologia proposta.

1.5. ÂMBITO

No setor da construção são definidas várias utilizações-tipo de edifícios, como por exemplo: habitacionais, administrativos, escolares, hospitalares, hoteleiros e restauração, comerciais, desportivos e de lazer, espetáculos e reuniões públicas, museus e galerias de arte, bibliotecas e arquivos, estacionamentos e, por fim, industriais, oficinas e armazéns.

A presente dissertação aborda os edifícios industriais através de um caso de estudo que corresponde à construção de uma unidade industrial, mais precisamente uma fábrica dedicada à assemblagem de estruturas para a parte dianteira dos aviões, cuja empresa responsável é internacional.

Refere-se que as conclusões retiradas desta dissertação são na perspetiva da engenharia civil e, além disso, os métodos demonstrados e utilizados podem ser aplicados a qualquer edifício da mesma categoria, ou até mesmo de outra distinta analisando, com a devida cautela, as principais diferenças entre as utilizações-tipo.

De acordo com a norma ISO 14040, sendo a ACV a metodologia na base da certificação BREEAM, é importante indicar que a unidade funcional para o estudo da ACV é o metro quadrado de área construída. Relativamente à fronteira do sistema em estudo, serve ainda o presente subcapítulo para referir as fases do ciclo de vida que são consideradas em cada método. O Método Expedito utiliza uma análise *cradle-to-gate* ("do berço ao portão") e compreende as etapas A1-A3 da ACV. Por outro lado, no Método Detalhado, os resultados apresentados pelo *Benchmark* recorrem a uma análise *cradle-to-grave* ("do berço ao túmulo") e engloba as etapas A1-A4, B4-B5 e C1-C4. Todavia, para além dessa análise, a plataforma *One Click LCA* também demonstra os resultados utilizando a análise *cradle-to-cradle* ("do berço ao berço") que tem em consideração todas as etapas do ciclo de vida: A1-A5, B1-B7, C1-C4 e D.

1.6. MÉTODO

Considera-se relevante apresentar neste parágrafo uma passagem que traduz a forma como deve ser realizada a metodologia de investigação: *"O método científico refere-se a um conjunto de regras básicas dos procedimentos que produzem o conhecimento científico, quer um novo conhecimento, quer uma correção ou evolução ou um aumento na área de incidência de conhecimentos anteriormente existentes. Na maioria das disciplinas científicas consiste em juntar evidências empíricas verificáveis - baseadas na observação sistemática e controlada, geralmente resultantes de experiências ou pesquisa de campo - e analisá-las com o uso da lógica. Para muitos autores, o método científico não é nada mais do que a lógica aplicada à ciência."* [2]

A dissertação pretende elaborar um trabalho com valor e precisão, produzindo uma metodologia bem definida e estruturada, de forma que seja possível obter resultados fidedignos e conclusões pertinentes. Para tal, são realizados vários passos que combinam no método que foi considerado o mais eficaz.

Este projeto foi elaborado em parceria com a empresa Garcia Garcia de forma a que o modelo criado pudesse ser aplicado a uma situação real e, dessa forma, recorrer a valores reais de uma obra de engenharia civil.

Numa primeira fase é crucial compreender o trabalho que se pretende desenvolver através da definição da problemática. Seguidamente, é necessário realizar a revisão bibliográfica para esclarecer determinados conceitos e expô-los de forma clara e precisa. Deste modo, consegue-se, numa terceira fase, criar uma metodologia estruturada e fundamentada, com base na realização das etapas anteriores. Esta fase permite determinar a ACV através de um Método Expedito e de um Método Detalhado que recorre a um *software* internacional. Por outro lado, como é necessário compreender a aplicabilidade da metodologia proposta, a mesma deve ser aplicada a um determinado caso prático, com a finalidade do modelo se conseguir adaptar ao mundo laboral e, assim, sair de um campo meramente científico e teórico.

Por conseguinte, através destes processos, obtêm-se os resultados provenientes da aplicação da metodologia ao caso de estudo, sendo fundamental analisá-los com o devido cuidado para compreender e interpretar os seus valores. Por fim, é possível retirar conclusões fundamentadas acerca da problemática definida. A Figura 3 apresenta, de forma esquemática, a metodologia de investigação.

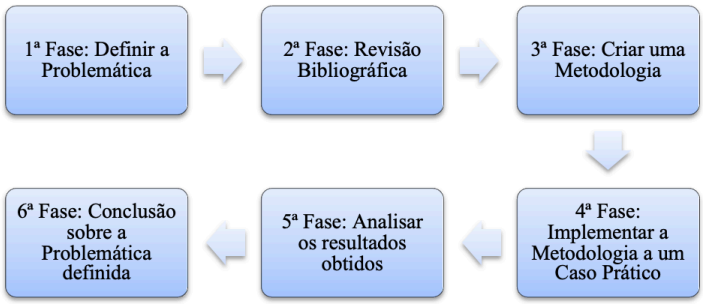


Figura 3 - Fluxograma da metodologia de investigação

1.7. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é constituída por seis capítulos. A sua organização tem como principal objetivo que o leitor compreenda, de forma estruturada, os temas abordados, a metodologia proposta e, por fim, as suas conclusões.

O primeiro capítulo, Introdução, descreve o que motiva a autora a abordar o tema, enquadrando-o e salientando a problemática em causa. Mencionam-se, ainda, os principais objetivos, o método utilizado e o modo como a dissertação se organiza.

No segundo capítulo realiza-se a revisão bibliográfica que permite ao leitor rever conceitos cruciais para a devida compreensão da dissertação.

O terceiro capítulo pretende abordar as características principais da empresa de acolhimento e descrever a obra caso de estudo com auxílio de peças desenhadas.

No quarto capítulo é descrita a metodologia proposta, da autoria da dissertante, para avaliar a Pegada de Carbono através de um Método Expedito e de um Método Detalhado que recorre a uma plataforma internacional, mais precisamente a *One Click LCA*.

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos provenientes da aplicação da metodologia proposta à obra caso de estudo. Apresenta-se, ainda neste capítulo, uma análise de sensibilidade que pretende comparar a dispersão dos resultados dos métodos mencionados.

Por último, o sexto capítulo apresenta as conclusões gerais da dissertação, propostas de melhoria e um desenvolvimento futuro que se considera relevante.

2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO

Sendo o objetivo principal deste projeto o recurso a meios cuja informação é válida e fidedigna, torna-se prudente realizar uma pesquisa organizada, metódica e coerente. Deste modo, o presente capítulo consiste numa exposição dos conceitos necessários para a devida compreensão da dissertação e dos conhecimentos e estudos realizados na área da sustentabilidade, da ACV, da certificação BREEAM e da Energia e Carbono incorporados.

O ponto 2.7 contém uma análise bibliométrica que apresenta o número de publicações científicas que contribuíram para a realização desta dissertação organizadas quer por ano, quer por tema. Destacam-se também as dissertações que acrescentam valor aos conteúdos apresentados.

2.2. SUSTENTABILIDADE

O setor da Construção Civil distingue-se de todas as outras áreas de atividade em termos produtivos e de mercado de trabalho. O elevado nível de extração de variadas matérias-primas de origem não renovável, os excessivos consumos energéticos e, por consequência, as inúmeras emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), constituem um enorme problema para a sua atividade. O crescimento e a globalização do mercado da construção civil, nos últimos anos, provocaram naturalmente um aumento do exercício da atividade e, sendo assim, torna-se inevitável realizar um controlo ao nível da sustentabilidade e dos impactes que o setor provoca no meio ambiente. Quer a edificação de novas estruturas, quer a reabilitação do património existente e, ainda, as demolições de determinadas construções, contribuem de forma significativa para o aumento da produção de resíduos. Salienta-se então que o tratamento ou destino dos referidos resíduos deve ser bem definido desde o início do planeamento da obra. [3]

Urge a necessidade de dar resposta a estes problemas e o tema da sustentabilidade surge como a principal preocupação atual, na medida em que pretende que haja um equilibro entre o bem-estar humano, a economia e os impactes ambientais.

O autor Van Bellen [4] destaca-se na abordagem do conceito de sustentabilidade que, como é do conhecimento, assume uma elevada complexidade. Na medida em que não existe consenso relativamente a esse tema, observa-se uma disparidade conceitual considerável nas discussões referentes à avaliação da sustentabilidade. Afirma-se que, a partir do final do século XX, houve um crescimento da consciência da sociedade em relação à degradação do meio ambiente devido aos processos de desenvolvimento. O aprofundamento da crise ambiental, aliado à reflexão sobre a influência da

sociedade, deu origem a um novo conceito: o "desenvolvimento sustentável", que é abordado no seguinte subcapítulo. Existe uma série de ferramentas e sistemas que procuram avaliar o grau de sustentabilidade do desenvolvimento, porém não se conhecem adequadamente as características teóricas e práticas destas ferramentas. Contudo, refere-se que uma determinada ferramenta de avaliação pode contribuir, de forma bastante positiva, para transformar a preocupação com a sustentabilidade numa ação pública consistente.

Agostinho, Ortega e Romero [5] apresentam diversas discussões relativas à definição de sustentabilidade e, como conclusão, propõem que a sustentabilidade esteja ligada à preservação dos recursos produtivos e à autorregulação dos seus consumos, eliminando o crescimento abrupto derivado das elevadas externalidades negativas, tanto sociais como ambientais. Afirmam ainda que, a nível local, o principal desafio é melhorar a qualidade de vida, recuperando e usando adequadamente os recursos renováveis. E, simultaneamente, a nível global, mudar o estilo de vida, realçando o foco na diminuição dos consumos com especial atenção nas áreas urbanas dos países economicamente mais ricos.

Os autores mencionados enunciam a definição proposta por Sachs [6] que merece a sua exposição nesta dissertação. De acordo com Sachs, a sustentabilidade consiste num conceito dinâmico que tem em conta as necessidades crescentes das populações num contexto internacional em constante expansão. Na perspetiva do autor, a sustentabilidade tem como base cinco principais dimensões: social, económica, ecológica, geográfica e cultural. A primeira categoria foca-se na diminuição das diferenças sociais promovendo uma melhor distribuição dos meios. Seguidamente, a sustentabilidade económica está não só vinculada com as questões públicas e privadas, mas também com a administração correta e eficaz dos recursos naturais. A nível ecológico, foca-se na utilização eficiente dos recursos existentes nos diversos ecossistemas, tendo por base minimizar a deterioração ambiental. A dimensão geográfica está relacionada com uma gestão espacial da área rural e urbana mais equilibrada. Por fim, a sustentabilidade cultural promove a realização de mudanças em harmonia com a comunidade vigente.

2.2.1. Desenvolvimento Sustentável

As palavras "desenvolvimento sustentável" tornaram-se num conceito intrínseco na sociedade atual. Refere-se que este conceito ganha mediatismo a nível mundial a partir de 1987, após ser designado no relatório *Our Common Future*, mais conhecido como o relatório de Brundtland, como aquele que *"permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de gerações futuras satisfazerem as suas"*. [3]

A existência de um equilíbrio entre os três pilares da sustentabilidade, nomeadamente o Ambiente, a Sociedade e a Economia, permitem atingir um desenvolvimento sustentável que tem como principais objetivos um ambiente natural e construído sustentável, uma sociedade igualitária e um desenvolvimento económico sustentável. [7]

No entanto, a realidade e situação atuais permitem aferir que ainda há um longo percurso até à concretização dos ideais mencionados. Mediante várias previsões científicas, caso o cenário presente se mantenha, em 2050 prevê-se que haja um consumo equivalente aos recursos ambientais de 2,3 planetas, o que permite traduzir que o planeta demora cerca de 2 anos e 4 meses a regenerar aquilo que é consumido num ano. Compreende-se, assim, que urge a necessidade da Humanidade assumir compromissos, à escala mundial, que alterem o rumo do planeta e impeçam que se caminhe cada vez mais para uma realidade insustentável. [7]

2.2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A linha de pensamento de Torgal e Jalali [3] permite que se aborde o tema complexo da "construção sustentável". Afirma-se que a indústria da construção constitui um dos maiores e mais ativos setores em toda a Europa, representando 25% de toda a produção industrial. Todavia, a nível ambiental é responsável por 30 a 40% das emissões de carbono e consome mais matérias-primas do que qualquer outra atividade económica, o que leva a concluir que o setor é insustentável.

A primeira definição para "construção sustentável" foi proposta por Kibert, em 1994, para descrever as responsabilidades da indústria da construção no que respeita ao conceito e aos objetivos da sustentabilidade. O Concelho Internacional da Construção (CIB) definiu o conceito como "*a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos*". [8]

Constata-se que, desde então, a expressão "construção sustentável" apresenta um crescimento exponencial e invulgar em artigos publicados em revistas científicas internacionais referenciadas na base de dados *Scopus-Elsevier*, como comprova a Figura 4. [3]

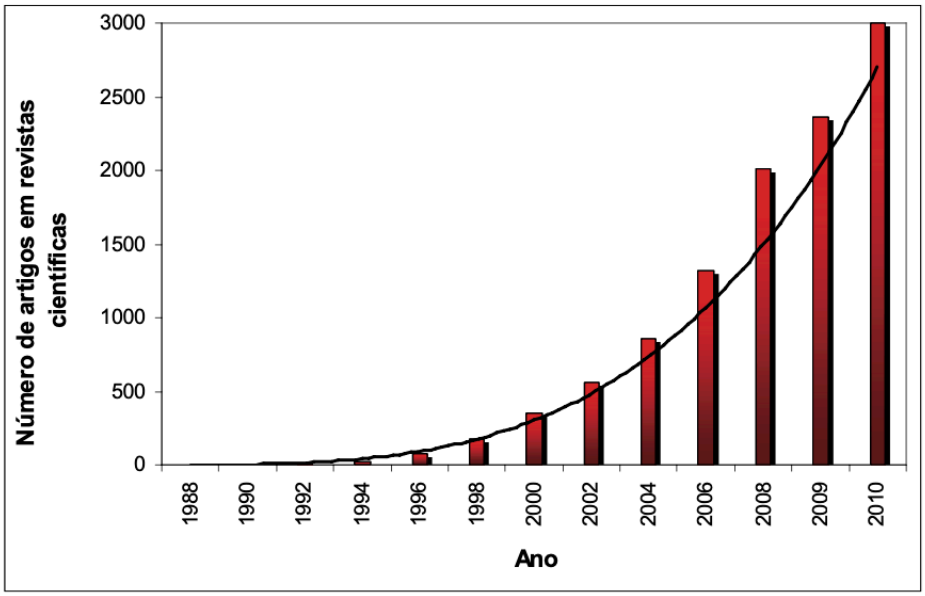


Figura 4 - Evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo a expressão "construção sustentável" no título, no resumo e nas palavras-chave [3]

Segundo Kibert [9], para se proceder a uma correta utilização do termo "construção sustentável", há determinados princípios que devem ser preservados e garantidos, tais como a redução do consumo de recursos e a sua reutilização, o uso de recursos recicláveis, a proteção da natureza, a aplicação de ACV's, entre outros.

As prioridades que devem estar presentes durante a fase de projeto de uma construção sustentável são apresentadas pelo autor Mateus [10] e consistem em: minimizar os custos de ciclo de vida; garantir condições de higiene e saúde nos trabalhos; economizar energia e água; maximizar a durabilidade; minimizar a produção de resíduos; utilizar materiais eco-eficientes; diminuir o peso da estrutura; assegurar a salubridade dos edifícios e planear a conservação e a reabilitação. As prioridades mencionadas são expostas, de forma esquemática, na Figura 5, adaptada pela dissertante.

Figura 5 - Prioridades a considerar no projeto de uma construção sustentável

2.3. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DOS EDIFÍCIOS

O ciclo de vida dos edifícios pode ser interpretado pela Figura 6 que evidencia que este se inicia na conceção, percorrendo todas as fases, até à desativação ou demolição.

Existem vários tipos de impactes ambientais, diretos ou indiretos, e mais ou menos críticos, associados aos edifícios ao longo do seu ciclo de vida. Para abordar os efeitos provocados pela construção é necessário compreender que a mesma se divide em várias fases e que cada uma delas provoca determinados impactes ambientais, sociais e económicos específicos. Os mesmos não devem ser vistos como um todo, nem associados a todo o ciclo da construção. Para interpretar e ter conhecimento onde se deve atuar para reduzir um determinado efeito prejudicial, deve-se ter consciência da etapa a que o mesmo pertence. Sendo assim, os próximos parágrafos abordam as principais dimensões da sustentabilidade (Ambiente, Sociedade e Economia) focando-se nos impactes provocados pela fase que tem mais influência no mesmo. [11]

Na fase da Conceção e Projeto sobressaem os impactes a nível económico porque se cria emprego e riqueza, aumentam-se as necessidades de transporte surgindo a libertação do tráfego local, e ainda a grande pressão que é exercida sobre os serviços urbanos.

Noutro prisma, a dimensão ambiental é fortemente afetada durante as fases de Construção e Utilização do edifício. É, nestas etapas, que se geram consumos de energia e emissão de GEE, o solo sofre alterações de uso e processos de compactação e contaminação. Acrescente-se também que, tanto a extração e consumo de matérias-primas, como a degradação estética e produção de resíduos, e ainda as interferências na fauna e flora que alteram ecossistemas, são fortes impactes provocados pelas fases de construção e operação.

Por fim, os impactes sociais tornam-se mais notórios no final da construção (Desativação/Demolição), fortalece-se a regeneração de comunidades, alteram-se as condições de segurança e o incómodo de comunidades, assim como se criam edifícios e infraestruturas com diversas funções.

Em conclusão, devem-se considerar quatro fases distintas, de modo a identificar os impactes principais em cada uma delas: Conceção/Projeto, Construção, Utilização/Operação e Desativação/Demolição.

Figura 6 - Fases do ciclo de vida de um edifício

2.4. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

A ACV, abreviada por LCA na língua inglesa (*Life Cycle Analysis*), é um assunto que foi objeto de investigação durante vários anos, destacando-se os autores Ciambrone [12], Guinée [13], Klopffer e Grahl [14] e Rodríguez [15], dos quais se utiliza a definição comum e abrangente a todos eles que vem reproduzida na plataforma de pesquisa B-On [16].

Tendo surgido na década de 1960, entende-se que a ACV é um método que pretende identificar os impactes ambientais associados a todo o ciclo de vida dos materiais e serviços.

Como exemplo, afirma-se que a *Coca-Cola Company*, no final da década, mais precisamente em 1969, impulsionou a utilização do método da ACV devido a uma pesquisa que consistia em efetuar comparações entre diferentes recipientes de bebidas, determinando aquele que teria menor impacte ambiental.

Na década de 1990, surge a necessidade de padronizar a metodologia de ACV através da ISO 14000 que garantia um sistema de avaliação das práticas de gestão ambiental que incluía rotulagem, avaliações de desempenho, comunicação e auditoria.

A ACV pode ser interpretada através de três componentes: análise de inventário, análise de impacte e análise de melhoria. De um modo geral, o método consiste em definir o objetivo e a finalidade do estudo, o inventário do ciclo de vida, a avaliação do impacte do mesmo e, por fim, a sua interpretação.

Numa primeira fase, o utilizador deve definir o objetivo e a finalidade do estudo, ou seja, se irá analisar um ciclo de vida completo, parcial ou em partes individuais. Desse modo, é prudente identificar o que incluir e excluir em cada etapa do processo. Naturalmente, é crucial ter um conhecimento aprofundado sobre os ciclos de vida dos produtos para se poder tomar as decisões corretas. É de notar que o ciclo de vida de um determinado produto abrange a aquisição de matérias-primas, requisitos de energia, fabricação, processamento, transporte e distribuição, utilização, reutilização, manutenção, reciclagem e, por fim, a gestão dos resíduos.

Seguidamente, é necessário adquirir dados de dentro e de fora da empresa. Tendo consciência que, quanto mais precisos e válidos forem os dados obtidos, melhor é o resultado da ACV. Acrescente-se que a utilização de informações públicas disponíveis para usar no inventário do ciclo de vida também favorecem o estudo final. Terminada a seleção dos dados, cabe ao utilizador realizar análises de inventário, tendo em consideração as entradas e saídas de todos os processos do ciclo de vida.

Numa terceira etapa, devem interpretar-se os resultados produzindo um relatório de avaliação no qual devem constar a metodologia utilizada, o propósito da análise, as condições limite definidas, as suposições efetuadas e o público de estudo. Cumpre evidenciar que as comparações de diferentes estudos de ACV devem ser apresentadas com rigor e cautela devido às diferentes condições em que são

realizados. Para dar conclusão à ACV é necessário identificar todas as áreas de potencial melhoria e fornecer sugestões para as alcançar.

Concluindo, a ACV é um processo de duração demorada dada a sua exigência. Todas as análises devem ser calculadas em termos de materiais e energia, o que exige a conversão de unidades em cada etapa. No sector da construção, a ACV é uma ferramenta essencial, uma vez que é um dos sectores que provoca enormes impactes ambientais a nível mundial, devido à grande quantidade de recursos que consome e resíduos que produz.

2.4.1. Variantes da Análise do Ciclo de Vida

O estudo da ACV na construção pode ser realizado através de quatro diferentes variantes, mediante as etapas do ciclo de vida que se pretendem analisar. Deste modo, a Figura 7 apresenta um esquema de como interpretar as fases que cada uma engloba. Destacam-se as variantes designadas como *cradle-to-gate* ("do berço ao portão"), *cradle-to-site* ("do berço ao local"), *cradle-to-grave* ("do berço ao túmulo") e, por fim, *cradle-to-cradle* ("do berço ao berço"). [17]

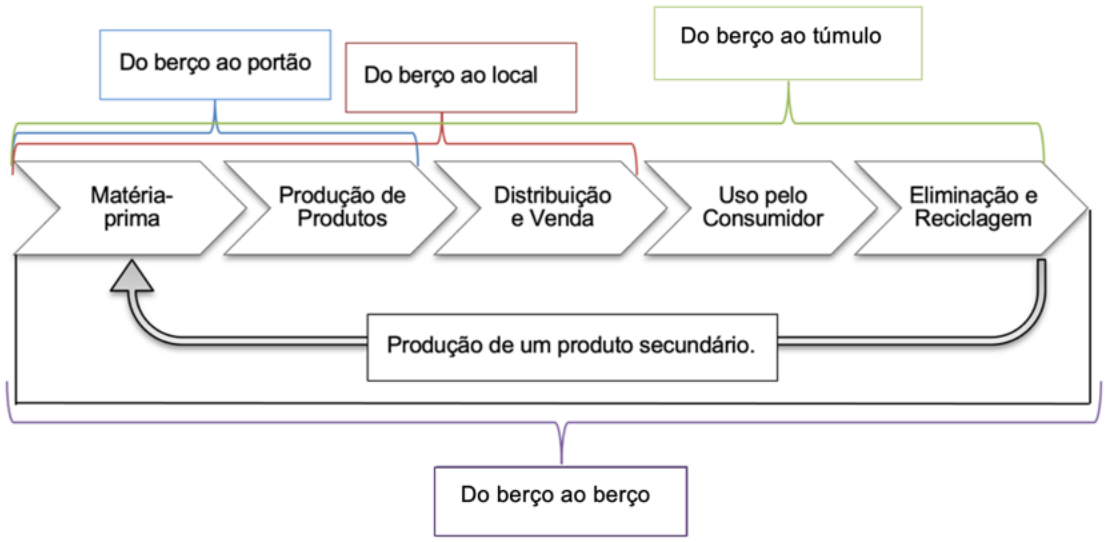


Figura 7 - Variantes da ACV [17]

Considera-se importante explicar cada uma das análises referidas por ordem crescente de fases do ciclo de vida que inclui no seu estudo. Sendo assim, a análise *cradle-to-gate* ("do berço ao portão"), assinalada a azul, engloba todos os processos e fases do ciclo de vida desde a extração das matérias-primas até ao portão da fábrica. Ou seja, nesta análise já não é tido em consideração o transporte realizado desde a fábrica até ao consumidor final. Acresce ainda que esta análise é usualmente empregada nas DAP's.

Mais abrangente do que esta, é a análise *cradle-to-site* ("do berço ao local"), assinalada a vermelho, que, para além de incluir as fases mencionadas, tem em consideração o transporte até ao consumidor final, nomeadamente, a distribuição e venda dos produtos.

Seguidamente, surge a análise *cradle-to-grave* ("do berço ao túmulo"), assinalada a verde, que compreende não só todas as etapas referidas, mas também o uso do produto pelo consumidor e a eliminação e reciclagem do mesmo. Melhor explicando, esta variante analisa todo o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas que lhe deram origem até à sua deposição final, quer seja através da reciclagem ou apenas a sua inutilização.

Por fim, a análise *cradle-to-cradle* ("do berço ao berço"), assinalada a roxo, assemelha-se à variante anterior, no entanto, como a expressão indica, após a última etapa (eliminação e reciclagem) surge a produção de um produto secundário. Ou seja, não se considera o fim de vida propriamente dito do produto, pois este pode dar origem a novas matérias-primas que estejam na base da criação de um diferente produto, sendo deste modo reintegrado no ciclo da construção.

2.5. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, têm vindo a ser criadas cada vez mais metodologias em diversos países, cujo objetivo principal consiste em analisar, quantificar e comparar índices de sustentabilidade, com o propósito de tornar o edificado ambientalmente mais atrativo.

Contudo, apesar da vasta quantidade de metodologias propostas, não existe ainda, na construção, um método com aceitação internacional unânime dado o elevado grau de subjetividade do tema. Isto porque a situação ambiental, social e económica difere substancialmente de país para país.

Os métodos de avaliação da sustentabilidade na construção apresentam, como base de estudo, uma vasta gama de indicadores de sustentabilidade, a maioria deles comuns ao conjunto de metodologias que existem no mercado. Devido a essa heterogeneidade, cada método atribui um peso ou fator de ponderação diferente adaptado e contextualizado com as condicionantes e fatores ambientais inerentes aos locais onde se inserem as construções. [18]

A nível internacional, destacam-se os sistemas de certificação BREEAM e *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e, a nível nacional, os sistemas de certificação LiderA e SBTool PT. A presente dissertação aborda, em maior detalhe, o método BREEAM no ponto 2.5.1. Segue-se uma descrição sucinta dos restantes três sistemas de certificação mencionados.

"O LEED foi desenvolvido pelo U.S. Green Building Council (U.S. Green Building Council, 2001) e é um sistema de certificação que avalia o desempenho ambiental de um edifício em quatro categorias. A estimativa do desempenho ambiental de um edifício baseia-se no número total de pontos que o edifício reúne durante a avaliação dos vários critérios. Finalmente, o edifício obtém um rótulo de desempenho que varia de prata, a ouro ou platina, de acordo com a sua pontuação final. Embora o LEED seja bastante simples para ser aplicado pelo utilizador (lista de condições e requisitos cumpridos ou não), é baseado num sistema complexo de regulamentos de construção norte-americana." [19]

O método LiderA é uma marca registada nacional que consiste num sistema de avaliação da construção através de níveis de desempenho ambiental numa ótica de sustentabilidade. Comparam-se os diferentes valores de desempenho (A a E), que devem ser melhores que as práticas existentes. O sistema tem como principais objetivos: apoiar o desenvolvimento de planos e projetos que procurem a sustentabilidade; avaliar e posicionar o desempenho na fase de conceção, construção e operação, quanto à procura de sustentabilidade; suportar a gestão na fase de construção e operação; atribuir a certificação por marca registada, através de verificação por uma avaliação independente e servir como instrumento de mercado distintivo para os empreendimentos e clientes que valorizem a sustentabilidade. [20]

O SBTool PT é uma ferramenta que permite avaliar a sustentabilidade dos edifícios e certificá-los. A metodologia implementada na ferramenta tem por base a estrutura do sistema internacional de avaliação da sustentabilidade SBTool, tendo sido desenvolvido pela associação, sem fins lucrativos, *International Initiative for the Sustainable Built Environment* (iiSBE) e é o resultado da colaboração, em consórcio, de equipas de mais de 20 países. O sistema português é resultado da adaptação do SBTool internacional à realidade portuguesa, que foi conduzida pela Associação iiSBE Portugal em colaboração com o Laboratório de Física e Tecnologia da Construção - Universidade do Minho (LFTC-UM) e a *Ecochoice*.

Através da utilização desta ferramenta, é possível avaliar e classificar o desempenho de um edifício, em relação a dois níveis de referência (adaptados ao contexto nacional): melhor prática e prática convencional. [21]

2.5.1. BREEAM

O estudo e análise do Manual técnico BREEAM [1] permite que a autora aborde, neste subcapítulo, os conceitos e metodologias aí expressos. Afirma-se que o BREEAM foi o primeiro método de classificação de sustentabilidade para o ambiente construído e tem um contributo crucial para o design, construção e utilização dos edifícios de modo sustentável. O BREEAM consiste num padrão internacional que é adaptado localmente, operado e aplicado através de profissionais da indústria. Através da sua aplicação, é possível medir e reduzir os impactes ambientais dos edifícios e, consequentemente, criar ativos de maior valor e menor risco.

Mitigar os impactes do ciclo de vida dos edifícios no meio ambiente, permitir que os edifícios sejam reconhecidos de acordo com os seus benefícios ambientais, fornecer um rótulo ambiental confiável para os edifícios que estimula a procura, e criar valor para construções sustentáveis são as metas apresentadas pelo BREEAM.

Por outro lado, estão também bem explícitos os seus principais objetivos que, de forma sucinta, consistem em:

- Proporcionar o reconhecimento de edifícios com baixo impacte ambiental, por parte do mercado.
- Garantir que sejam incorporadas melhores práticas ambientais no planeamento, projeto, construção e operação de edifícios.
- Definir um padrão de desempenho robusto e económico que ultrapasse o exigido pelos regulamentos em vigor.
- Desafiar o mercado a fornecer soluções inovadoras e económicas que minimizem o impacte ambiental provocado pelos edifícios.
- Consciencializar os proprietários, ocupantes e projetistas sobre os benefícios que são possíveis retirar através da construção de edifícios com menor impacte para o meio ambiente.

A certificação BREEAM pretende garantir a qualidade ambiental através do uso de medidas quantificadas, equilibradas e acessíveis. Com o intuito de incentivar e recompensar resultados positivos, adota uma abordagem flexível que, em simultâneo, evita o recurso a soluções prescritas. Esta certificação revela que a ciência robusta e melhores práticas devem ser utlizadas como base para quantificar e calibrar um padrão de desempenho rigoroso e económico que define a qualidade ambiental.

Cumpre ainda referir que o BREEAM fornece um quadro internacional comum de avaliação que é adaptado para atender ao contexto local onde é aplicado. Esta certificação integra os profissionais de construção, desde os processos de desenvolvimento até aos de operação. O facto da certificação ser adotada através de terceiros consegue garantir a independência, credibilidade e consistência do selo (Figura 8).

No entanto, sendo os desenvolvimentos na política, na tecnologia e no âmbito do conhecimento um dos princípios básicos do BREEAM, a certificação recorre a diversas ferramentas, práticas e padrões existentes da indústria para os promover e, consequentemente, minimizar os custos associados. Por conseguinte, permite que haja uma reflexão sobre os benefícios sociais e económicos retirados através do cumprimento dos objetivos ambientais.

No manual referido, constam dez capítulos cujos distintos temas são essenciais para a devida compreensão e execução da certificação BREEAM: *Management* (Gestão); *Health and wellbeing* (Saúde e bem-estar); *Energy* (Energia); *Transport* (Transporte); *Water* (Água); *Materials* (Materiais); *Waste* (Resíduos); *Land use and ecology* (Uso da terra e ecologia); *Pollution* (Poluição) e *Innovation* (Inovação). Cada um apresenta diversos subcapítulos mediante as exigências que lhe estão associadas. Compreende-se que todos os temas se interligam e provocam consequências diretas ou indiretas em cada qual. Deste modo, o foco do BREEAM é apresentá-los demonstrando a sua importância individual e, consequentemente, a sua dependência comum.

A primeira categoria, *Management*, incentiva a adoção de práticas de gestão sustentável em conexão com as atividades de design, construção e manutenção, para garantir que os objetivos de sustentabilidade sejam definidos e seguidos durante toda a operação do edifício. As ações de sustentabilidade são incorporadas através das etapas de design e aquisição, desde o início do projeto até ao fornecimento adequado de cuidados posteriores.

Na secção *Health and wellbeing*, é promovido o conforto, a saúde e segurança dos ocupantes e visitantes do edifício. Pretende-se melhorar a qualidade de vida nas edificações, reconhecendo aquelas que estimulam um ambiente interno e externo saudável e seguro para os ocupantes.

No terceiro capítulo, *Energy*, incentiva-se a especificação e projeto de soluções, sistemas e equipamentos de construção com eficiência energética que apoiem o uso sustentável da energia, quer na construção, quer na gestão da operação do edifício. São fornecidas medidas para melhorar a eficiência energética inerente ao edifício, encorajar a redução das emissões de carbono e apoiar a gestão eficiente ao longo da fase operacional da vida do edifício.

A categoria *Transport*, promove um melhor acesso a meios de transporte sustentáveis para os usuários dos edifícios, nomeadamente a acessibilidade do transporte público e outras alternativas de transporte pouco poluentes. Por esta via, conseguem-se reduzir as viagens através da utilização do carro e, consequentemente, congestionamentos e emissões de CO_2 ao longo da vida do edifício.

Na secção *Water*, são fornecidas diretrizes para o uso sustentável da água na operação do edifício e no seu local. De igual modo, são também identificados meios para reduzir o consumo de água potável ao longo da vida útil do edifico e, ainda, para minimizar as perdas por vazamento.

No capítulo *Materials*, são indicadas medidas para reduzir o impacte dos materiais de construção no projeto, na construção, na manutenção e na reparação dos edifícios. Salienta-se a importância que é dada à aquisição de materiais de forma responsável, assim como aos que têm baixo impacte ambiental incorporado durante a sua vida, desde a extração, processamento, fabricação e reciclagem.

No tema seguinte, *Waste*, são fornecidas indicações que contribuem para uma gestão sustentável, e reutilização quando viável, dos resíduos de construção através de futuras manutenções e reparações associadas à estrutura do edifício. Com recurso a boas práticas de projeto e de construção, visam-se reduzir os resíduos decorrentes da construção e operação da edificação, incentivando o seu desvio do aterro.

A categoria *Land use and ecology*, indica os princípios fundamentais para o uso sustentável da terra, proteção e criação de habitat e melhoria da biodiversidade a longo prazo, no local da construção e nos terrenos circundantes. Este tema foca-se, ainda, na reutilização de áreas abandonadas, ou de baixo valor ecológico que, consequentemente, contribuem de forma positiva para a melhoria da ecologia e para a gestão da biodiversidade a longo prazo.

De seguida, na secção *Pollution*, são estabelecidas medidas para controlar e prevenir a poluição e o escoamento de águas superficiais associados à localização e uso do edifício. Pretende-se, desta forma,

reduzir o impacte do edifício nas comunidades e ambientes circundantes decorrentes da poluição luminosa, ruído e emissões para o ar, solo e água.

Por fim, no capítulo *Innovation*, apresentam-se oportunidades que não estão incluídas, ou vão para além dos requisitos dos critérios de crédito, que permitem um desempenho exemplar e que a inovação seja reconhecida. Os benefícios, através da redução de custos por meio da inovação, são promovidos e facilitados ajudando a incentivar, impulsionar e acelerar a adoção de medidas inovadoras pelo público.

As construções, que sejam validadas pelo sistema de certificação BREEAM, obtêm o selo oficial (Figura 8) que assegura que a construção foi submetida a uma avaliação completa e satisfatória. Acresce ainda que a avaliação deve ser realizada por um avaliador certificado pelo *Building Research Establishment* (BRE).

Figura 8 - Selo da certificação BREEAM [1]

2.6. ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS

A tendência de crescimento da população mundial contribui, indiretamente, para o aumento e expansão da indústria da construção civil. Este setor consome aproximadamente 40% da energia mundial durante as fases do ciclo de vida de construção, utilização e, posteriormente, demolição. Podem-se distinguir duas vertentes da energia no ciclo de vida de um edifício, nomeadamente, a energia incorporada e a operacional. A primeira, energia incorporada, refere-se à quantidade de energia que é gasta nos processos de produção dos materiais, no transporte dos mesmos, na construção, nas operações de manutenção e, por fim, na demolição. Por outro lado, a energia operacional refere-se apenas àquela que é efetivamente consumida nas operações correntes do edifício. [22]

É importante referir que, ao longo do tempo, tem havido uma diminuição pronunciada da energia operacional devido, essencialmente, ao aumento da eficiência energética dos vários equipamentos utilizados. Simultaneamente, torna-se prudente agir no sentido de inovar a nível tecnológico, de forma a que a energia incorporada consiga atingir padrões ambientalmente mais favoráveis.

Num edifício existem dois principais tipos de emissões de carbono, mais precisamente o carbono incorporado e o carbono operacional. O carbono incorporado corresponde às emissões de GEE durante o ciclo de vida, sendo expresso como equivalentes de dióxido de carbono, CO_2eq. Refere-se ainda ao dióxido de carbono emitido durante o fabrico, transporte e processamento dos materiais de construção, aliado também às emissões de fim de vida. Acrescente-se ainda que as emissões ocorrem durante todas as fases mencionadas, ou seja, na extração da matéria-prima, nos processos de fabricação e, por fim, no transporte do material até ao estaleiro.

Por outro lado, o carbono operacional refere-se ao dióxido de carbono emitido durante a vida de um edifício, a partir das cargas "regulamentadas" e não "regulamentadas", ou seja, as emissões de aquecimento, arrefecimento, iluminação, entre outras.

Na verdade, o carbono incorporado é considerado tão, ou ainda mais importante, do que o carbono operacional, na medida em que este corresponde ao carbono emitido "hoje" para realizar uma construção. Constata-se que, até ao momento, não há consenso sobre o modo como o carbono incorporado deve ser definido e calculado. Como consequência, realizar avaliações de carbono incorporado torna-se um processo complexo e, além disso, o facto de não existir uma metodologia padrão, regras específicas e bases de dados universais, condicionam a garantia e segurança dos resultados obtidos.

Sintetizando, é importante referir que uma avaliação da pegada de carbono é um subconjunto da maioria dos estudos da ACV. Pode-se afirmar que a junção do carbono incorporado e do carbono operacional compõem a Pegada de Carbono do ciclo de vida completo do edifício. [23]

O carbono incorporado no ciclo de vida de um edifício pode ser interpretado, de forma esquemática, através da Figura 9.

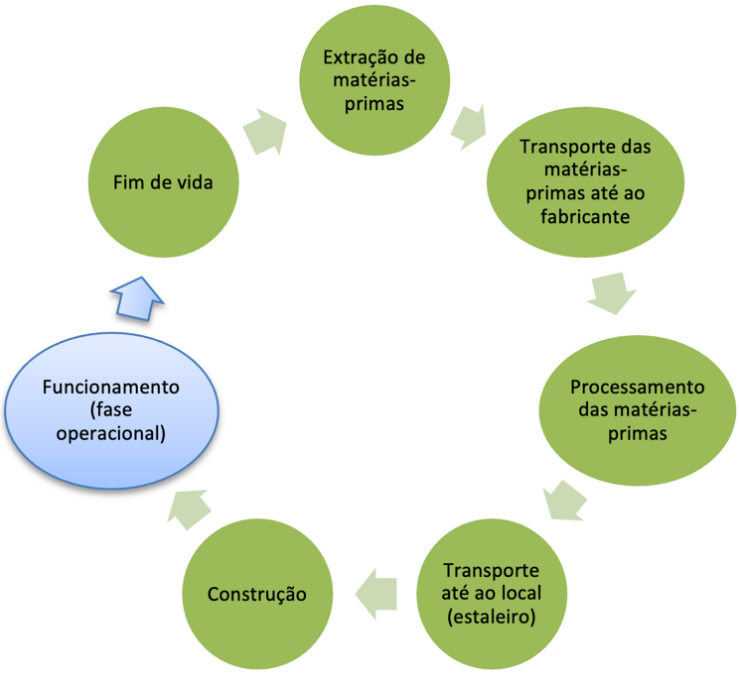


Figura 9 - Carbono incorporado no ciclo de vida de um edifício

O Potencial de Aquecimento Global, mais conhecido como *Global Warming Potencial* (GWP), é a medida que converte uma quantidade de um determinado GEE que contribui para o aquecimento global. Na verdade, esta medida compara o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono. Usualmente, é expresso em $kgCO_2eq/kg$ e designado por algumas bases de dados como Coeficiente de Carbono. [8]

2.7. BIBLIOMETRIA

Considera-se importante destacar, neste ponto, as dissertações que acrescentaram valor aos conteúdos apresentados anteriormente:

- Dissertação de Mestrado de Tiago Ramalho - *Proposta de um Método de Avaliação da Sustentabilidade na Construção Pré-fabricada* [24]

- Dissertação de Mestrado de André Pires - *Modelos de Certificação da Sustentabilidade dos Edifícios: Análise Comparativa dos Processos de Certificação* [25]
- Dissertação de Mestrado de Vinicius Rodrigues - *Avaliação do Ciclo de Vida de uma Unidade Industrial: uma avaliação da pegada de carbono e da intensidade energética da obra* [26]
- Dissertação de Mestrado de Elda Ferraz - *Análise de Ciclo de Vida de Materiais Construtivos: Contributo para a Certificação de Edifícios* [27]
- Dissertação de Mestrado de Diogo Rodrigues - *A Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios: Estudo de Casos* [28]
- Dissertação de Mestrado de José Subida - *Metodologias de Avaliação da Sustentabilidade Aplicadas a Intervenções de Reabilitação: Casos de Estudo* [29]

Os quatro principais temas abordados anteriormente dizem respeito aos conceitos de sustentabilidade, ao estudo da ACV, aos sistemas de certificação existentes e, ainda, ao carbono e energia incorporados nos materiais. Sendo assim, a Tabela 1 apresenta os autores que foram referenciados ao longo do presente capítulo, o ano da publicação científica utilizada e o tema em que a mesma se enquadra.

Tabela 1 - Análise bibliométrica

Autor	Ano de publicação	Tema	Referência bibliográfica
Ignacy Sachs	1990	Sustentabilidade	[6]
David Ciambrone	1997	Análise do Ciclo de Vida	[12]
Hans M. Van Bellen	2004	Sustentabilidade	[4]
José Canga Rodríguez	2003	Análise do Ciclo de Vida	[15]
Charles Kibert	2005	Sustentabilidade	[9]
Ricardo Mateus, Luís Bragança	2004, 2006	Sistemas de certificação, Sustentabilidade, Carbono incorporado	[18], [8]
Manuel D. Pinheiro	2006	Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida	[11]
Feni Agostinho, Enrique Ortega, Ademar Romeiro	2007	Sustentabilidade	[5]
Ricardo Mateus, Rogério Amoêda, Manuel C. Guedes	2007	Sustentabilidade	[10]
F. Pacheco Torgal, Said Jalali	2010	Sustentabilidade	[3]
Jeroen Guinée	2011	Análise do Ciclo de Vida	[13]
Stewart Lockie, Piotr Berebecki	2012	Carbono incorporado	[22]
Walter Klöpffer, Birgit Grahl	2014	Análise do Ciclo de Vida	[14]
BREEAM International New Construction	2016	Sistemas de certificação	[1]
Maria T. Barbosa, Manuela Almeida, José A. Castañon	2019	Sistemas de certificação	[19]

Dissertações de Mestrado			
Tiago Ramalho	2017	Sustentabilidade, Sistemas de certificação	[24]
André Pires	2017	Sistemas de certificação	[25]
Vinicius Rodrigues	2017	Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida, Carbono incorporado	[26]
Elda Ferraz	2019	Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida, Sistemas de certificação, Carbono incorporado	[27]
Diogo Rodrigues	2020	Sustentabilidade	[28]
José Subida	2020	Sustentabilidade, Análise do Ciclo de Vida, Sistemas de certificação	[29]

Acrescentam-se ainda duas figuras (Figura 10 e Figura 11) que apresentam o número de publicações científicas analisadas, por ano e por tema, respetivamente.

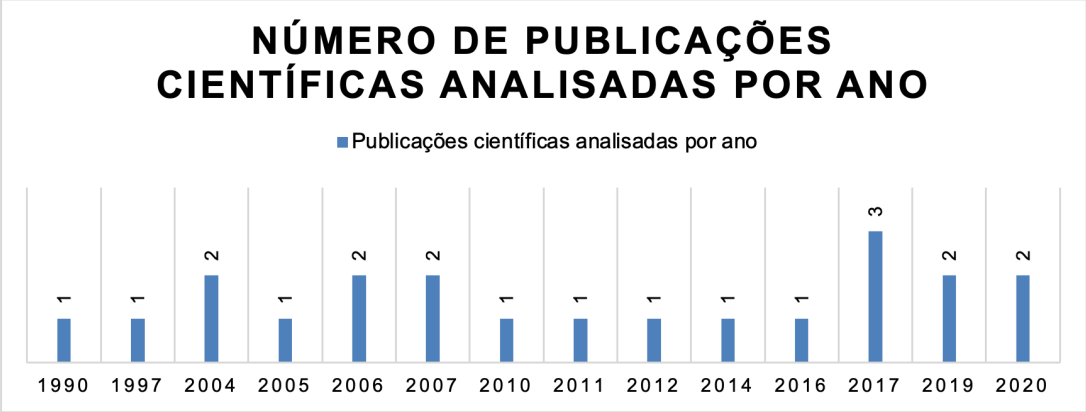


Figura 10 - Número de publicações científicas analisadas por ano

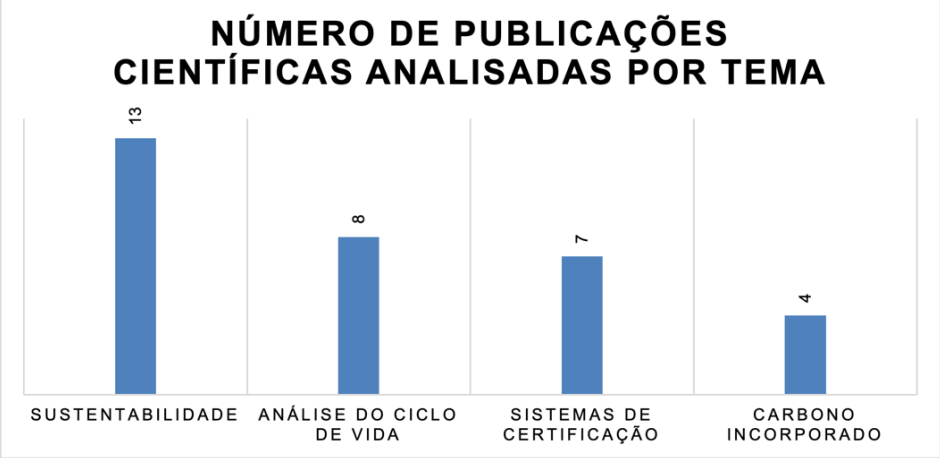


Figura 11 - Número de publicações científicas analisadas por tema

3

EMPRESA DE ACOLHIMENTO E OBRA CASO DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como principal objetivo a apresentação da empresa de acolhimento, Garcia Garcia, responsável pela obra caso de estudo.

Num primeiro subcapítulo, é descrita a empresa em questão, nomeadamente os elementos que a caracterizam, os seus princípios e objetivos, o tempo de atuação no setor da construção, as áreas em que se especializa, os diversos tipos de obra que desenvolve e a sua estrutura de funcionamento. A grande maioria da informação deste subcapítulo foi obtida através de meios digitais [30].

Seguidamente, é apresentada a obra caso de estudo, com auxílio de três peças desenhadas, mais precisamente, uma planta, um corte e uma imagem 3D, fornecidos pela Equipa de Projeto, e o plano de trabalhos da unidade industrial, fornecido pela Equipa de Direção de Obra. São explicadas as características fundamentais da obra, desde a sua tipologia, localização e período expectável de duração.

3.2. EMPRESA DE ACOLHIMENTO

A ligação da Garcia Garcia, detentora do alvará de construção Nº 3402-PUB, à construção civil surge a partir do final do século XIX, através da construção de chaminés de fábricas da Indústria Têxtil.

A partir da década de 60, a empresa diversifica o seu negócio e investe na construção de estruturas industriais integradas. Seguidamente, na década de 90, começa a investir na área da conceção e desenvolve inúmeros projetos para empresas, nacionais e multinacionais, de vários setores. Mais recentemente, em 2016, a empresa foi reconhecida como a Melhor Construtora nos Prémios Construir.

Para além da construção, a empresa é especializada no *Design & Build* de edifícios industriais, logísticos, comerciais e residenciais. Noutro prisma, tem vindo a reforçar as suas competências e capacidades para intervir na área da reabilitação, desenvolvendo inúmeros projetos de reabilitação industrial, tanto ao nível de renovação de unidades obsoletas, como ao nível de requalificação de espaços industriais abandonados para nova utilização. Em termos de reabilitação urbana, tem contribuído para a recuperação e desenvolvimento de edifícios em Centros Históricos.

Com base nas informações que são possíveis retirar dos meios digitais da empresa de acolhimento, apresenta-se a Figura 12, que permite ao leitor ter a perceção da distribuição dos tipos de projeto que a mesma desenvolve. Pode-se concluir que os que obtêm maior destaque são projetos de *Design & Build*.

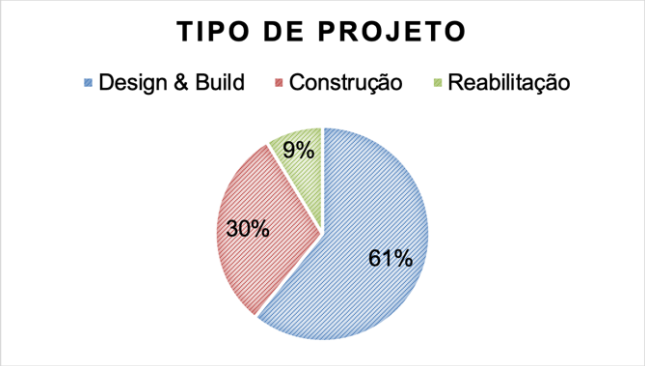


Figura 12 - Distribuição, em percentagem, dos tipos de projeto da empresa de acolhimento

Os projetos desenvolvidos abrangem clientes dos setores da indústria, logística, comércio e residencial. A Garcia Garcia promove e desenvolve parques empresariais e industriais, dos quais se destacam o Parque Empresarial da Ermida e o Parque Industrial de Mide. O primeiro consiste num complexo industrial, situado no concelho de Santo Tirso, no distrito do Porto, encontrando-se em fase de expansão e cuja previsão é ficar com uma área total de 58 ha, totalmente infraestruturados. Quanto ao segundo, é um complexo industrial situado em Lordelo, Guimarães, com uma área total de 18 ha e áreas de construção desde os 500 m^2.

Considera-se interessante apresentar a distribuição dos projetos, por categoria, que a empresa de acolhimento desenvolve. A Figura 13 é obtida de modo semelhante à anteriormente exposta. Compreende-se, através da sua análise, que os edifícios industriais representam mais de metade do trabalho desenvolvido pela empresa. Adianta-se já ao leitor que a obra caso de estudo corresponde a um desses casos.

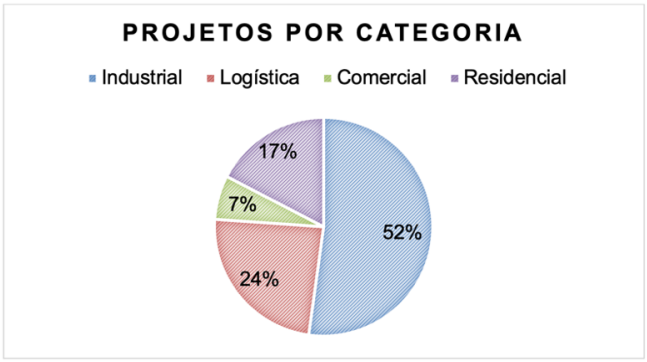


Figura 13 - Distribuição, em percentagem, dos projetos da empresa de acolhimento por categoria

Segundo a empresa, a qualidade, o ambiente e a segurança são os seus pilares fundamentais. Relativamente ao Sistema de Gestão Integrado de Qualidade, Ambiente e Segurança, o mesmo é suportado nos requisitos das normas NP EN ISO 9001:2015, NP EN ISO 14001:2015 e NP EN ISO 45001:2008.

O modelo de trabalho e de abordagem da Garcia Garcia é apresentado através da Figura 14. Numa primeira fase, desenvolve todas as iniciativas necessárias para apresentar uma proposta de localização que se enquadre com os objetivos do cliente. Posteriormente, validada a localização, inicia-se um trabalho próximo com o cliente e com a sua equipa para definir metas e requisitos. Através desta etapa, são desenvolvidos o Estudo Prévio e a respetiva Estimativa Orçamental. Por fim, com a validação de todas as fases anteriores, a empresa assegura todo o trabalho ao nível dos projetos de Arquitetura e Engenharia, processos de Licenciamento e, consequentemente, construção do imóvel.

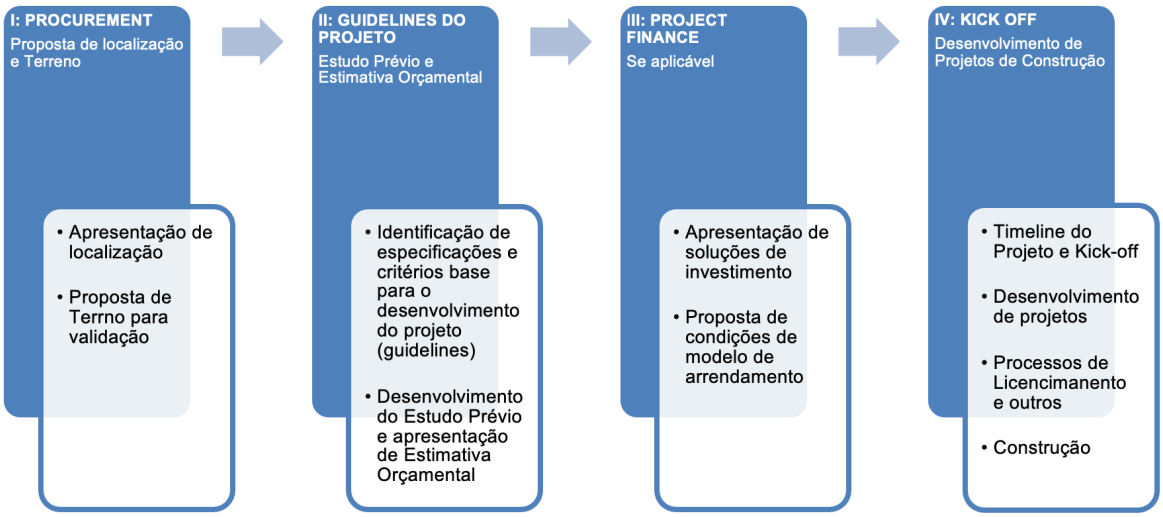


Figura 14 - Modelo de trabalho da empresa de acolhimento, adaptado pela autora [30]

Os serviços da empresa são assegurados por uma equipa multidisciplinar que se distribui desde a Arquitetura à Engenharia Civil, passando por diferentes especialidades como a Engenharia Eletrotécnica e a Engenharia Mecânica. A este ponto, a empresa conta com cerca de 175 colaboradores qualificados e preparados para responder aos desafios colocados. O volume de negócios representa aproximadamente 80.000.000 € e a mesma já possui mais de 200.000 m^2 construídos (Figura 15).

Figura 15 - Dados da empresa de acolhimento atualizados no ano 2019 [30]

A título de curiosidade, a empresa desenvolveu, até ao momento, projetos em quatros países distintos: Portugal, França, Marrocos e Mauritânia como apresenta a Figura 16.

Figura 16 - Mapa com indicação dos países onde a empresa desenvolveu atividade [30]

A empresa apostou e investiu na metodologia *Building Information Modeling* (BIM) como modelo de trabalho, na medida em que esta ferramenta é um processo integrado de gestão da informação que agrega as diferentes especialidades que coabitam num projeto. E, dessa forma, possibilita a partilha estruturada de informação entre todos os intervenientes. Através do BIM, é conseguida uma redução dos prazos de conceção e construção, diminuição dos custos e, além disso, é assegurado o desenvolvimento de projetos com um grau de confiança superior.

3.3. OBRA CASO DE ESTUDO

A obra caso de estudo consiste num projeto com a categoria industrial, mais concretamente, na construção de uma fábrica localizada em Santo Tirso. O valor do investimento da obra é aproximadamente 42.600.000€. A área total do terreno corresponde a 40.000 m^2, dos quais 19.000 m^2 são a área de implantação (área total no plano do terreno em que é feita a construção), que se obtêm somando os 18.000 m^2 da Nave e os 1.000 m^2 dos escritórios. Compreende-se então que os restantes 21.000 m^2 estão associados à área do terreno livre que se destina a arranjos exteriores e arruamentos. É importante referir que a área bruta de construção corresponde a 20.000 m^2, associados aos 18.000 m^2 da Nave e aos 2.000 m^2 dos escritórios que têm dois pisos (cada um com 1.000 m^2). A área bruta de construção é a que é tida em consideração no cálculo do Método Expedito e do Método Detalhado.

A obra teve início no mês de Maio do corrente ano, encontrando-se neste momento em desenvolvimento e a sua estimativa de término é Abril de 2021. Através do planeamento executado pelo Diretor de Obra (Figura 17), assinala-se o período em que a autora da dissertação esteve presente (Outubro a Dezembro) através de linhas azuis verticais representadas a tracejado.

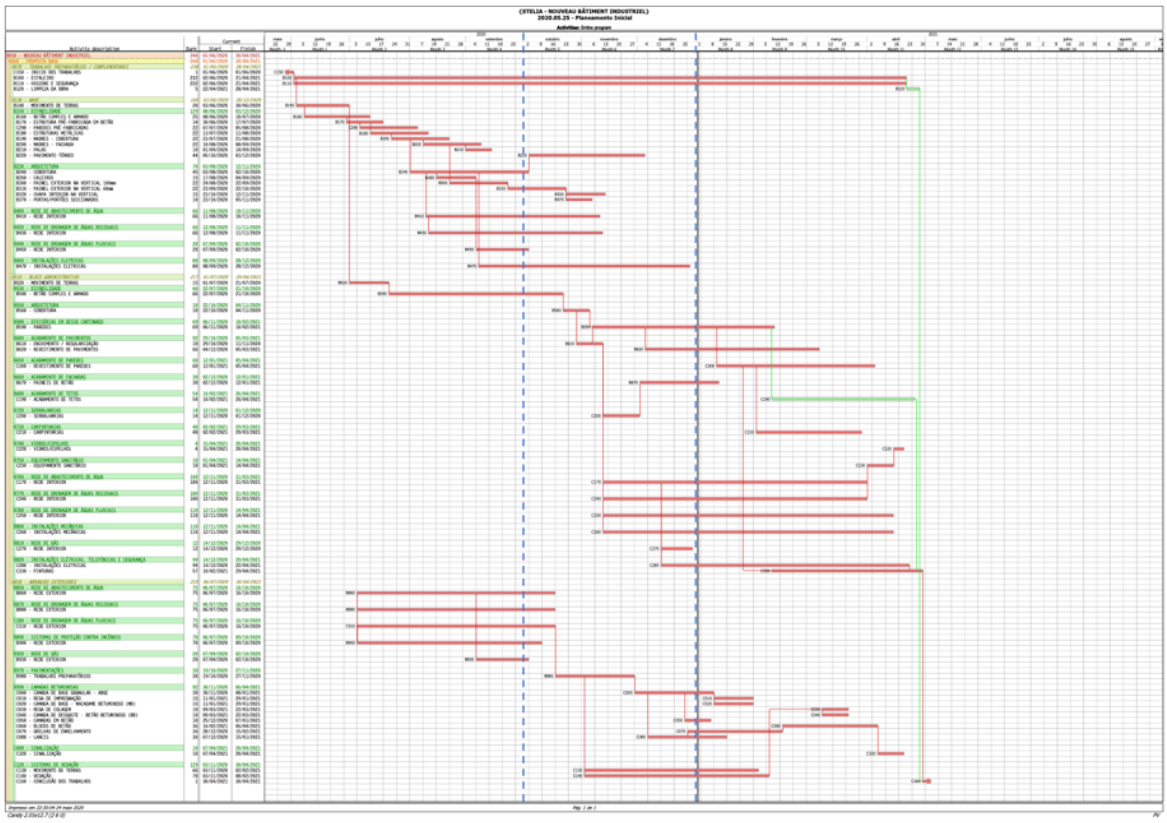


Figura 17 - Plano de trabalhos da Obra Caso de Estudo e, assinalado pelas linhas azuis verticais, o período de permanência em obra da autora [31]

Para uma melhor interpretação da obra caso de estudo, são apresentadas uma planta da Nave e da parte administrativa, um corte do bloco social e administrativo e uma imagem 3D da Nave, fornecidas pela Equipa de Projeto da empresa executante.

Relativamente à planta de fundações, Figura 18, chama-se particular atenção para os enormes vãos de 24 m e para o pé-direito de 14 m. Os painéis pré-fabricados, em betão, de 16 cm apoiam-se em todos os pilares perimetrais e, acrescente-se ainda que, as sapatas têm cerca de 3,5x2,5 (m^2).

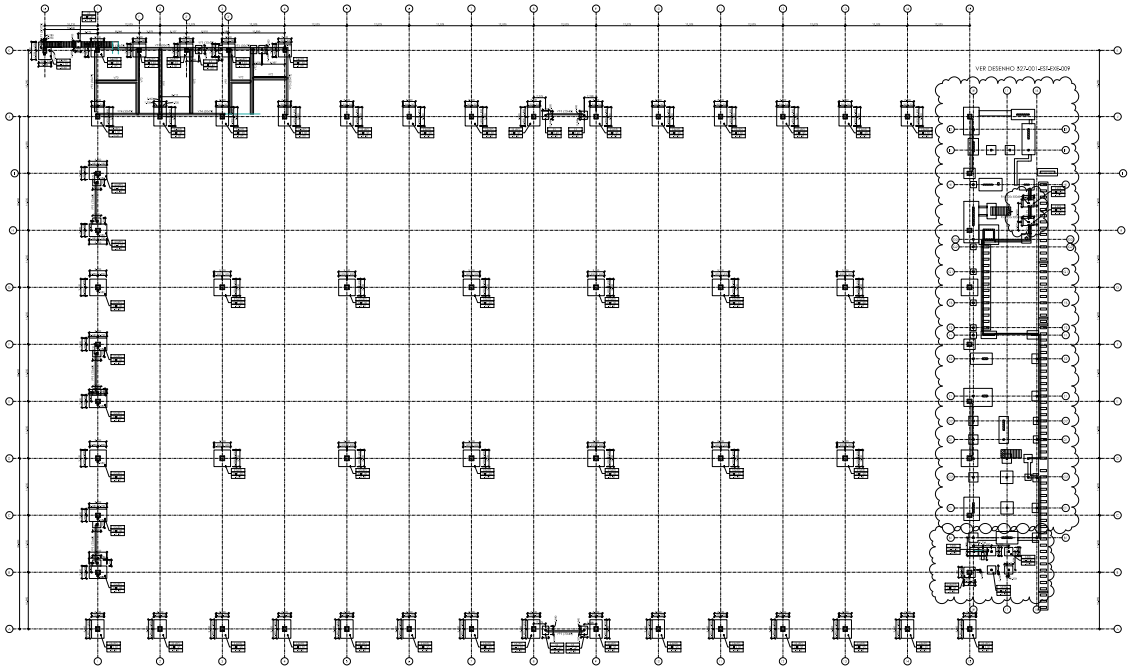


Figura 18 - Planta de fundações da Nave e da parte administrativa [32]

Analisando os cortes da Figura 19 salienta-se a diferença entre o pé-direito do bloco social e do administrativo que correspondem, respetivamente, a 8,40 m e 14 m. A figura apresenta ainda pormenores construtivos referentes à estrutura, relevantes para a sua interpretação.

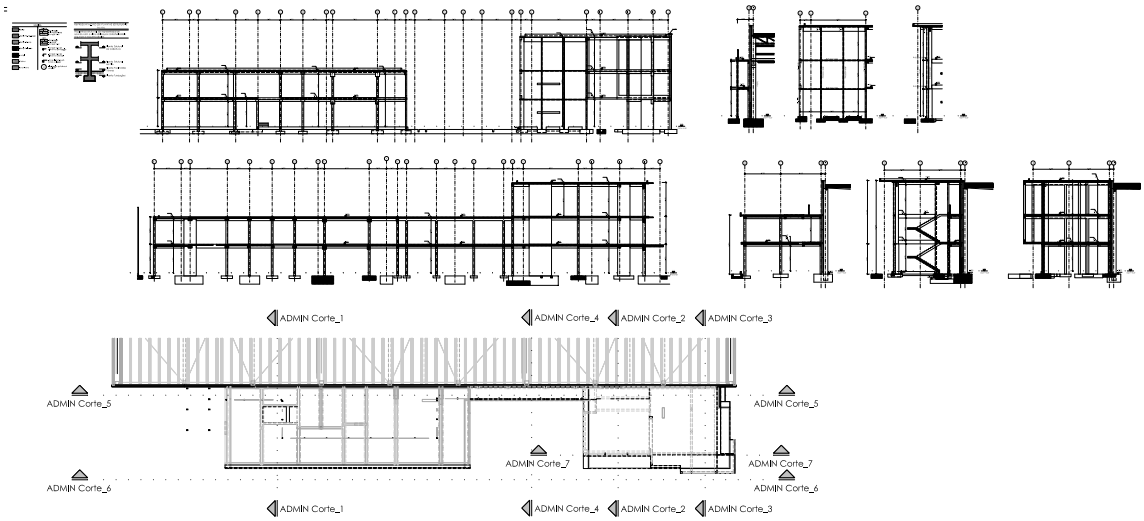


Figura 19 - Cortes do bloco social e administrativo [32]

Tanto a planta de fundações, como dos cortes do bloco social e administrativo, apresentam a mesma legenda que se expõe através da Figura 20.

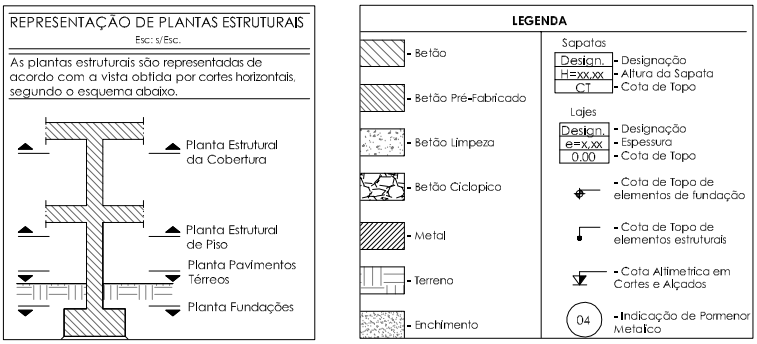


Figura 20 - Legenda das Figura 18 e Figura 19 [32]

Por fim, através da Imagem 3D da Nave, é possível constatar que o edifício compreende dois eixos de simetria devidamente representados a tracejado preto, o que salienta a repetitividade da solução. Nesta unidade industrial, os elementos em betão são os pilares, as vigas de enorme dimensão (24 m) e os painéis pré-fabricados perimetrais. Por outro lado, os restantes elementos metálicos estruturais são compostos por treliças, madres, vigas de contraventamento e ómegas.

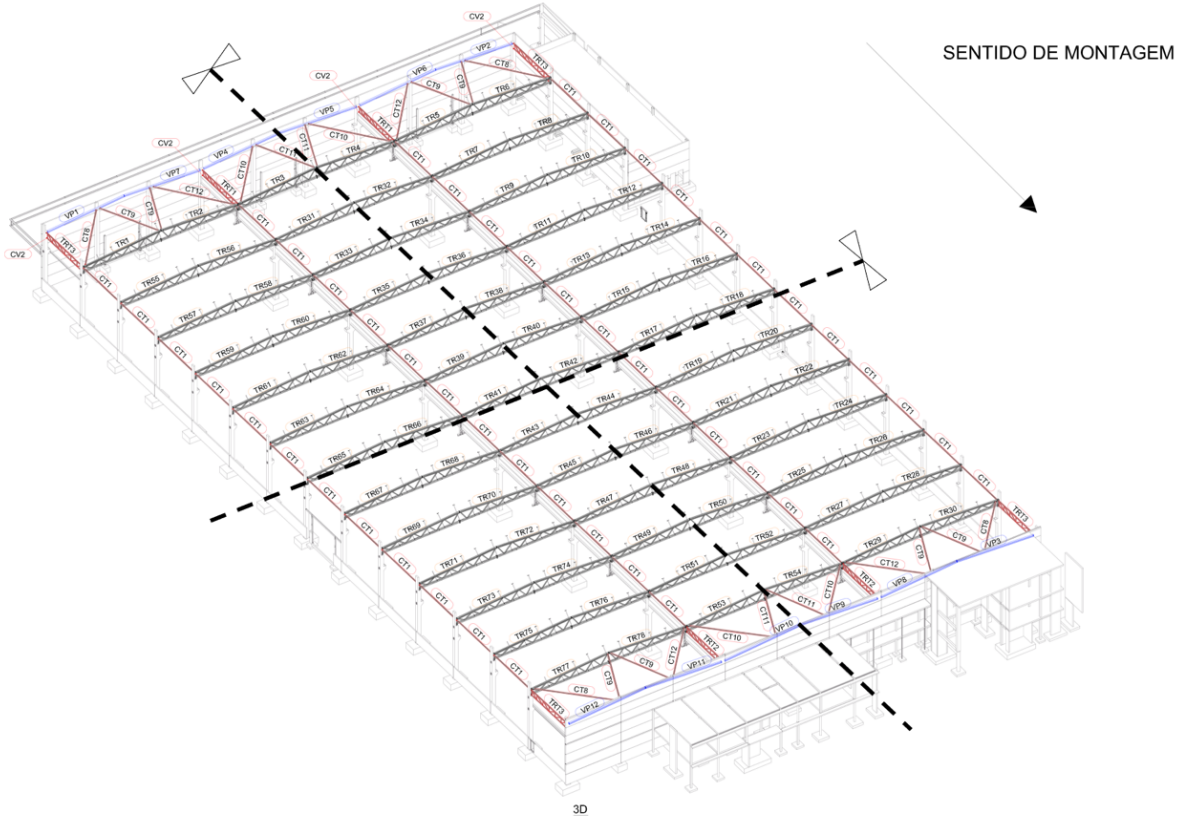


Figura 21 - Imagem 3D da Nave e, assinalados a tracejado preto, os dois eixos de simetria do edifício [33]

Para melhor compreensão da hierarquização e das especialidades intervenientes, apresenta-se o organograma funcional da empreitada. O Dono de Obra é representado pelo Diretor Geral Financeiro da empresa a quem se destina a obra. Foi contratada por este uma equipa externa, de duas pessoas, para realizar a fiscalização. O fiscal, que exerce as funções no âmbito da coordenação de segurança e de

gestão ambiental, permanece em tempo parcial na obra e, por outro lado, a fiscalização do cumprimento do projeto é executada em tempo integral.

A entidade executante é a Garcia Garcia, que conta com o apoio de um Diretor de Obra, um Encarregado e um Adjunto de Direção de Obra, em permanência total na obra caso de estudo. O Departamento de Qualidade Ambiental e Segurança e o de Melhoria Continua, exercem as suas funções na sede da empresa. Acrescente-se que a autora da dissertação se enquadra na dependência da Direção de Obra e, sendo assim, está assinalado a vermelho no organograma da Figura 22 a posição da mesma.

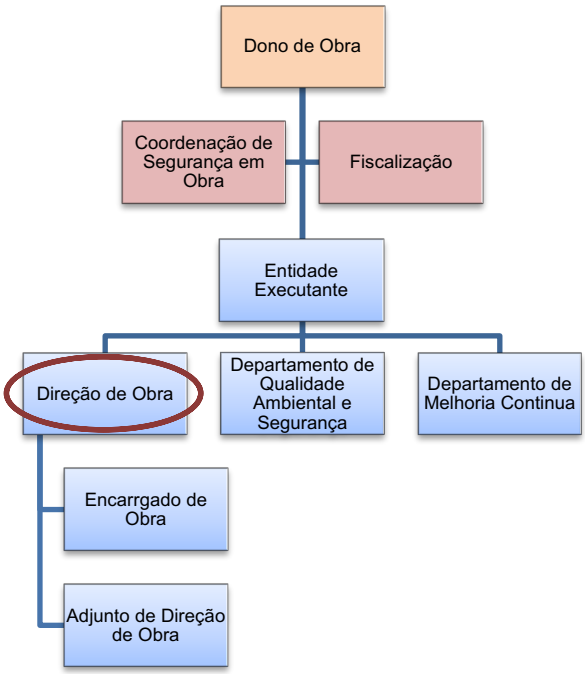


Figura 22 - Organograma funcional da empreitada e, assinalado a vermelho, a posição da autora

A produção é feita por três estruturas diferentes, mais precisamente pelo pessoal próprio da Garcia Garcia, por tarefeiros e por subempreiteiros. Como mencionado anteriormente, a empresa de acolhimento é responsável pelo desenvolvimento do projeto da obra caso de estudo e pela equipa de gestão de produção, apresentada no organograma. Os tarefeiros destinam-se a fornecer apenas mão-de-obra, estando o material e equipamentos necessários para a realização da tarefa assegurados pela empresa de acolhimento.

Quanto aos subempreiteiros, destacam-se cerca de dezassete que são os que realizam os principais trabalhos e atividades da obra: ar comprimido; chapa da cobertura; cofragem; cortinas corta-fogo; desenfumagem; estruturas metálicas; estruturas pré-fabricadas; iluminação zenital; infraestruturas elétricas; infraestruturas hidráulicas; infraestruturas mecânicas e AVAC; movimentos de terras; painel fotovoltaico; painel pré-fabricado; painel sandwich da fachada; pavimentos térreos; pontes rolantes; portas e portões; redes pluviais; redes prediais; revestimento da cobertura; serralharia e telas asfálticas. Cada subempreiteiro tem como sua representação um Encarregado responsável pela frente do trabalho em questão, que se encontra em permanência total na obra.

É importante referir que a gestão ambiental da obra é realizada pelo Departamento de Qualidade Ambiental e Segurança. São várias as medidas implementadas de modo a garantir que não é apenas no projeto que as preocupações existem, mas, por outro lado, também na produção, onde há inúmeros fatores que podem contribuir para uma construção mais sustentável.

Destacam-se as seguintes soluções ambientais:

- No que diz respeito à fauna e à flora, o local da obra caso de estudo não condicionou o habitat de espécies animal existentes no seu redor (lebre, toupeira, esquilo, rato e morcego) e, além disso, como o eucalipto era a vegetação predominante, e não sendo este uma espécie que obrigue a cuidados específicos para a desflorestação, a obra garante o bem-estar dos ecossistemas envolventes.
- Relativamente ao ruído, foi realizado, na fase inicial de obra, um estudo acústico de modo a garantir que não são infringidos os valores máximos admissíveis. No entanto, como a obra se localiza numa zona industrial, a sua atividade de estaleiro não é a que de todas produz mais ruído. Acrescente-se também que não são realizados trabalhos fora das horas legais estabelecidas.
- A limpeza dos camiões de betão é feita no estaleiro e, para tal, foi aberto um cabouco onde se colocou uma membrana de geotêxtil. O cabouco recebe a limpeza das caleiras da respetiva cisterna dos camiões e, à medida que o mesmo vai ficando sem capacidade, ou quando é necessário, retiram-se os resíduos (betão seco), que são devidamente triturados, para serem reutilizados como base de pavimento.
- Todas as sobras de betão são reencaminhadas para posterior utilização como betão de limpeza.
- Os principais consumos do estaleiro, água e energia, são analisados através de um contador que foi colocado, desde o início da obra, e através de um gerador, respetivamente.
- O separador de hidrocarbonetos existente na obra recebe águas pluviais dos pisos térreos exteriores e, após a devida separação dos óleos e da água, esta é encaminhada para a rede de drenagem pública de águas pluviais, onde entra com um teor de poluição bastante reduzido.
- Na obra caso de estudo, as terras provenientes de escavação foram britadas e reaproveitadas para o aterro das próprias valas.
- Através do estudo geotécnico foi possível concluir que não existiam lençóis freáticos no terreno, pelo que não foi necessário o seu desvio.

4
METODOLOGIA PROPOSTA

4.1. INTRODUÇÃO

O quarto capítulo da dissertação destina-se a abordar a metodologia proposta para realizar a ACV na construção focando-se em duas estratégias. Por um lado, através de um Método Expedito sugerido pela autora e, por outro, com recurso a um Método Detalhado que consiste na utilização da plataforma *One Click LCA*.

Esta plataforma teve preferência relativamente a outras alternativas existentes uma vez que, para a obra obter a certificação BREEAM, é exigido que se realize a ACV através de determinados *softwares* reconhecidos e validados pelo BRE.

Salienta-se que, tanto a plataforma, como os conceitos necessários a reter, assim como as tabelas utilizadas, recorrem à língua inglesa, o que exige à autora o devido empenho para um perfeito entendimento da análise. Ao longo deste capítulo, surgem traduções realizadas voluntariamente pela dissertante para uma melhor compreensão do leitor.

Relativamente à plataforma *One Click LCA*, trata-se de um *software* que possui métricas de ciclo de vida simples e eficazes, ajudando os profissionais da construção a reduzir o carbono, os custos e o uso de determinados materiais. O *software* produz resultados fiáveis em conformidade com mais de 40 certificações, como por exemplo BREEAM, LEED, NS 3720, DGNB, entre outras. [34]

A plataforma *One Click LCA* recorre à ferramenta de cálculo LCA, EN-15978 para realizar a ACV na construção. Esta permite que utilizadores que possuam a licença gratuita executem uma ACV do edifício completo de acordo com a norma técnica EN-15978. Deste modo, como a dissertação consiste num projeto académico, permitiu à autora pedir uma licença gratuita para usufruir do *software* e realizar todo o estudo, apesar das limitações impostas ao acesso a determinadas ferramentas, sendo a principal o impedimento de acesso às ferramentas BREEAM.

A *One Click LCA* foi verificada por terceiros pelo *Building Research Institute* (ITB), quanto à conformidade com o padrão EN-15978. É fundamental referir que o ITB é uma organização de certificação e um Organismo Notificado para a Comissão Europeia, designado para a certificação de produtos de construção e, além disso, a sua independência e imparcialidade dos serviços é garantida. [35]

De acordo com a EN-15978, o limite do sistema da análise envolve a fase de produção de material (Módulos A1-A3), a fase de construção (Módulos A4-A5), a fase de utilização (Módulos B1-B7), o período do fim de vida (Módulos C1-C4) e o Módulo D, que aloca os benefícios decorrentes da reciclagem, recuperação ou reaproveitamento de materiais. Deste modo, o modelo tem em consideração todo o ciclo de vida da edificação, desde a fase de produto até à fase final.

A Figura 23 traduz o conceito modular que foi introduzido pelas normas produzidas pelo CEN/TC350 (*European Committee for Standardization - Sustainability of Construction Works*) para a definição dos limites do sistema da ACV. De acordo com a figura, os potenciais impactes ambientais, que ocorrem ao longo do ciclo de vida do edifício, são alocados para a fase onde ocorrem, permitindo total transparência dos resultados da análise.

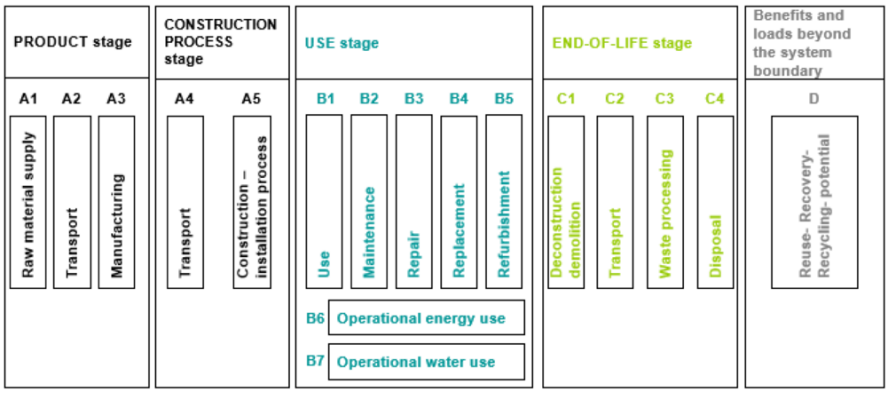


Figura 23 - Objetivo da ACV de edifícios, de acordo com as normas produzidas pelo CEN/TC350 [35]

Os módulos A1 a A3 consistem na análise *cradle-to-gate* ("do berço ao portão"). Estas etapas compreendem os impactes de um produto ou material que está pronto para ser transportado para o estaleiro, incluindo as emissões provocadas pela extração de matérias-primas, transporte e processos de fabricação. Caso sejam utilizados materiais reciclados ou reaproveitados nesta etapa, as suas emissões não devem ser contabilizadas. O módulo A4 está associado ao transporte dos materiais necessários para a construção do edifício, desde o local de produção até ao estaleiro. Acrescente-se que essas informações são baseadas em cenários ou suposições que tenham em consideração a localização do edifício e o tipo de transporte. Por fim, o módulo A5 tem em consideração os impactes gerados pelo uso de energia e água no local de construção e abrange ainda a gestão de resíduos, incluindo desperdícios de materiais.

Os módulos B1 a B5 incluem os impactes ambientais da utilização, manutenção, reparação, substituição e renovação de produtos de construção após estes atingirem o fim da sua vida útil. As emissões consideradas incluem não só os impactes do fornecimento, transporte e produção de matérias-primas na substituição de novos materiais, mas também os impactes de fabricação do material de substituição e a gestão dos resíduos até ao seu estado final. Os módulos B6 e B7 dizem respeito aos consumos de energia operacional e de água durante a fase de utilização do edifício, respetivamente. O módulo B7 tem em consideração os impactes ambientais do ciclo de vida da água, incluindo o transporte e tratamento de águas residuais.

Por fim, os módulos C1 a C4 incluem os impactes do processamento dos resíduos de construção para reciclagem (C3) até à fase do estado de "fim de resíduo" (*end-of-waste stage*), ou os impactes de pré-processamento e deposição em aterro de resíduos que não podem ser reciclados (C4). Além disso, os impactes da desconstrução incluem as emissões causadas pela recuperação energética de resíduos. Nestas etapas, estão incluídas a utilização de equipamentos e máquinas para a desconstrução da edificação, a triagem dos materiais e o transporte dos materiais resultantes até ao seu destino final.

De forma a cumprir os objetivos da abordagem proposta e apoiar as políticas da União Europeia relacionadas com a eficiência de recursos, o Módulo D é incluído na ACV do edifício, uma vez que este considera os benefícios ambientais resultantes de produtos e materiais reutilizáveis ou recicláveis. No entanto, este é um desvio das normas produzidas pelo CEN/TC350 que consideram o Módulo D como opcional na ACV de edifícios. Trata-se, no fundo, da diferença entre a abordagem *cradle-to-grave* e *cradle-to-cradle*.

4.2. METODOLOGIA PROPOSTA PARA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA CONSTRUÇÃO

A metodologia proposta fornece dois métodos para calcular a ACV na construção, nomeadamente o Método Expedito e o Método Detalhado. O Método Expedito, sugerido pela autora, consiste em analisar e estruturar os dados do MTQ e obtém como resultado final uma estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono do edifício. Além disso, este método permite também reunir informações para o Método Detalhado. O Método Detalhado utiliza plataforma *One Click LCA* que requer, antes de iniciar a análise, o preenchimento de um ficheiro Excel específico fornecido pela plataforma. Esse ficheiro exige realizar uma compilação dos dados do MTQ e estruturar a informação que se pretende analisar. Cumpre ainda referir que a primeira fase da metodologia diz respeito ao Método Expedito e as duas fases seguintes ao Método Detalhado, ou seja, compreendem etapas necessárias para obter o resultado final através do *software*.

O fluxograma da Figura 24 apresenta as diversas etapas que compreendem cada uma das três fases e, seguidamente, é também exposto, de forma ampliada, o fluxograma que apresenta apenas as tarefas a efetuar na plataforma *One Click LCA*. As etapas destacadas a sombreado são propostas originais, ou seja, o Método Expedito é integralmente desenvolvido pela dissertante, bem como a 2ª Fase do Método Detalhado (metodologia para estruturar o ficheiro Excel *One Click LCA*). Realça-se ainda que, os números assinalados a vermelho, nas diferentes etapas, compreendem assuntos sobre os quais se disserta, com especial destaque para os pontos 4.2.4.1, 4.2.4.2, 4.2.4.3, 4.2.4.4, 4.2.4.5, respetivamente.

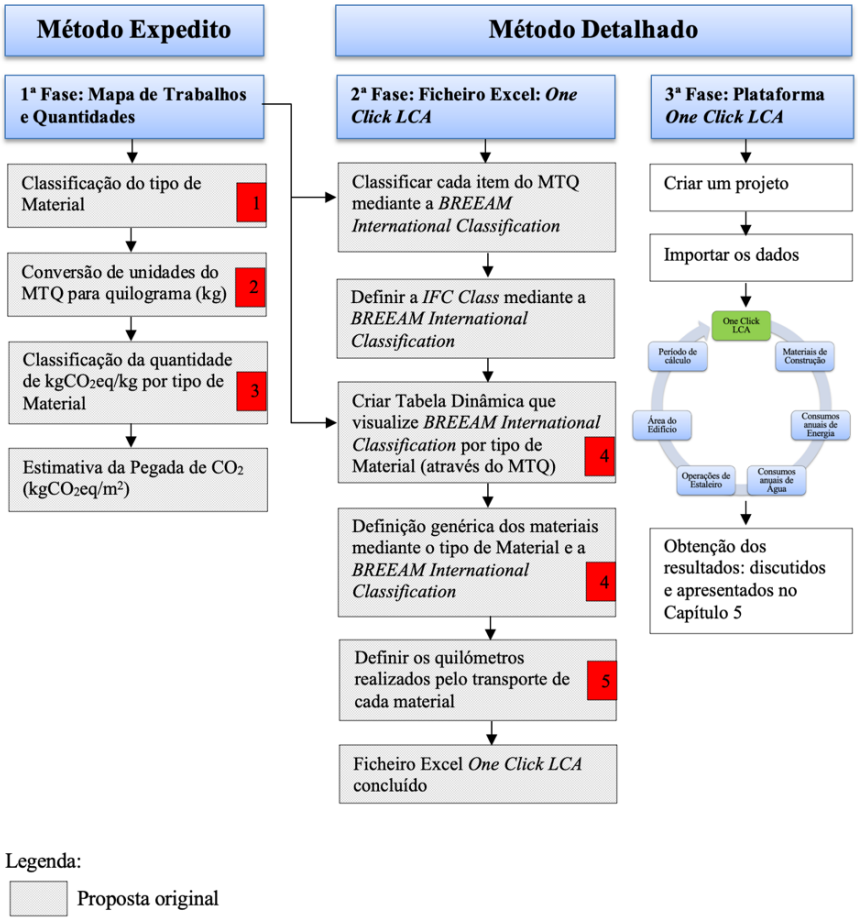


Figura 24 - Fluxograma da metodologia proposta para ACV na construção

É importante referir que a ACV deve ser realizada na fase de pré-dimensionamento, na medida em que permite que se façam alterações em determinados materiais que estejam a contribuir negativamente para

as emissões equivalentes de CO_2. Contudo, salienta-se que a metodologia proposta foi aplicada em fase de execução da obra caso de estudo.

Estruturou-se o processo extenso da análise em três subcapítulos e consta ainda no texto, um subcapítulo final destinado às considerações efetuadas e às propostas de melhoria para os itens assinalados no fluxograma. Ao longo do presente capítulo, a Figura 24 repete-se, assinalando a vermelho, a etapa que está a ser alvo de discussão.

4.2.1. Método Expedito: Primeira Fase - Análise e Preparação dos Dados do Mapa de Trabalhos e Quantidades

O Método Expedito, proveniente da experiência em obra, subdivide-se em quatro etapas que representam a primeira fase da metodologia. Este obtém como resultado final uma estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono do edifício. O primeiro passo da 1ª Fase consiste na classificação do tipo de material que constitui cada item apresentado no MTQ da obra, como mostra a Figura 25.

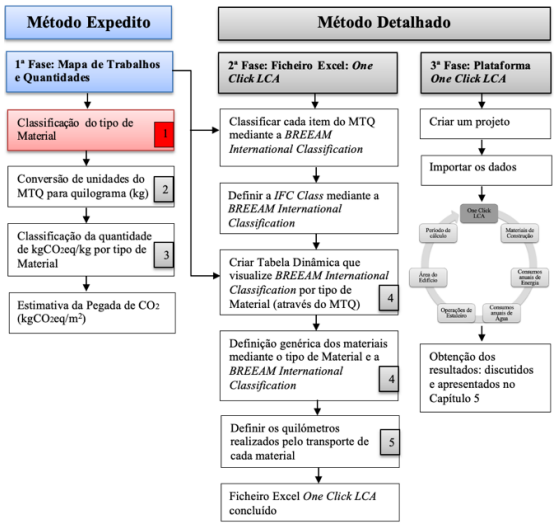


Figura 25 - Primeira etapa do Método Expedito

A Tabela 2, oriunda do manual *BREEAM New Construction 2016* [1], apresenta as dez alternativas consideradas para classificar o tipo de material de cada item do MTQ.

Tabela 2 - Classificação do tipo de material

Material	Material (tradução para Português)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	Fibra ou pele de origem animal, fibra de celulose
Clay based	À base de argila
Concrete or cementitious	Betão ou argamassas cimentícias
Glass	Vidro
Gypsum	Gesso
Metal	Metal
Other	Outro
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Plático, polímero, resina, tinta, produtos químicos & betuminosos
Stone or aggregate	Pedra ou agregado
Timber or timber based	Madeira ou à base de madeira

Considera-se que é um pouco redutor recorrer a apenas uma única classificação do tipo de material a um determinado item do MTQ. A generalidade dos produtos utilizados na construção são constituídos por mais do que um material e, sendo assim, propõe-se que se classifiquem os dois principais materiais (designados como "Material 1" e "Material 2") e, por fim, o "Material Remanescente", que se optou por atribuir sempre a designação *Other* (Outro).

Uma vez que se decide dividir a classificação em três tipos de material, considera-se relevante colocar, em cada um, a sua percentagem aproximada. Este valor é obtido através da interpretação e análise das fichas técnicas (FT's) do produto, ou com o auxílio de um profissional da especialidade que possua conhecimentos aprofundados acerca do mesmo. Salienta-se que quando não há informação precisa acerca das percentagens de material de um determinado produto, opta-se por recorrer apenas à classificação do "Material 1" atribuindo-lhe a percentagem total, ou seja, os 100%.

Neste sentido, segue-se o exemplo da Tabela 3 como amostra de uma situação em que foi possível recorrer às percentagens de cada tipo de material.

Tabela 3 - Exemplo 1 retirado do MTQ para realizar a Classificação do tipo de Material

Item	Execução de revestimentos autoportantes em placas de gesso cartonado tipo Knauf, sistema W626, compostas por duas placas Knauf standard A, com 12,5mm de espessura, montantes interiores de 70mm em aço galvanizado, incluindo isolamento interior em lã mineral tipo Knauf de 50mm de espessura e 40Kg/m³ de densidade, tratamento das juntas com pastas e cintas apropriadas, barramento total das superfícies para posterior pintura com tinta aquosa e todos os materiais e trabalhos necessários para o seu perfeito acabamento.
Material 1	Gypsum (Gesso)
Percentagem Material 1	40%
Material 2	Metal (Metal)
Percentagem Material 2	20%
Material Remanescente	Other (Outro)
Percentagem Material Remanescente	40%

Adicionalmente, sugere-se a leitura do ponto 4.2.4.1. onde se disserta sobre o assunto exposto e as devidas considerações que o mesmo implica.

A Figura 26 apresenta a segunda etapa.

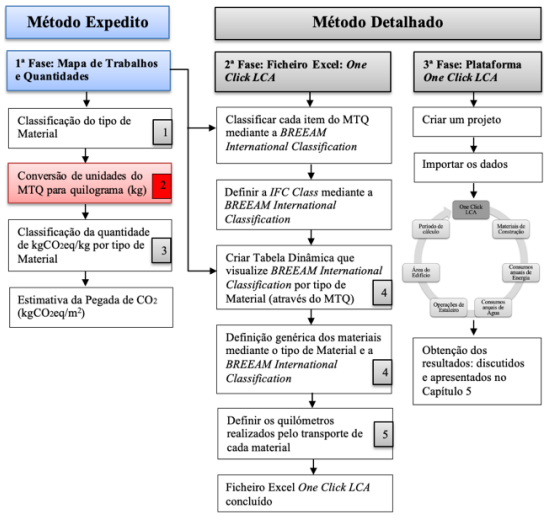


Figura 26 - Segunda etapa do Método Expedito

O MTQ apresenta os diversos itens recorrendo a diferentes unidades como, por exemplo, a utilização de metro (m), metro linear (ml), metro quadrado (m^2), metro cúbico (m^3), unidade (un), conjunto (cj), valor global (vg) ou quilograma (kg). Para o estudo e cálculo da Pegada de Carbono, é necessário que os materiais apresentem o seu valor em quilograma. Sendo assim, realizar a conversão das unidades do MTQ para quilograma é a segunda etapa do processo. Para uma melhor interpretação do mesmo, utiliza-se o fluxograma da Figura 27 e, de seguida, segue-se a sua explicação detalhada.

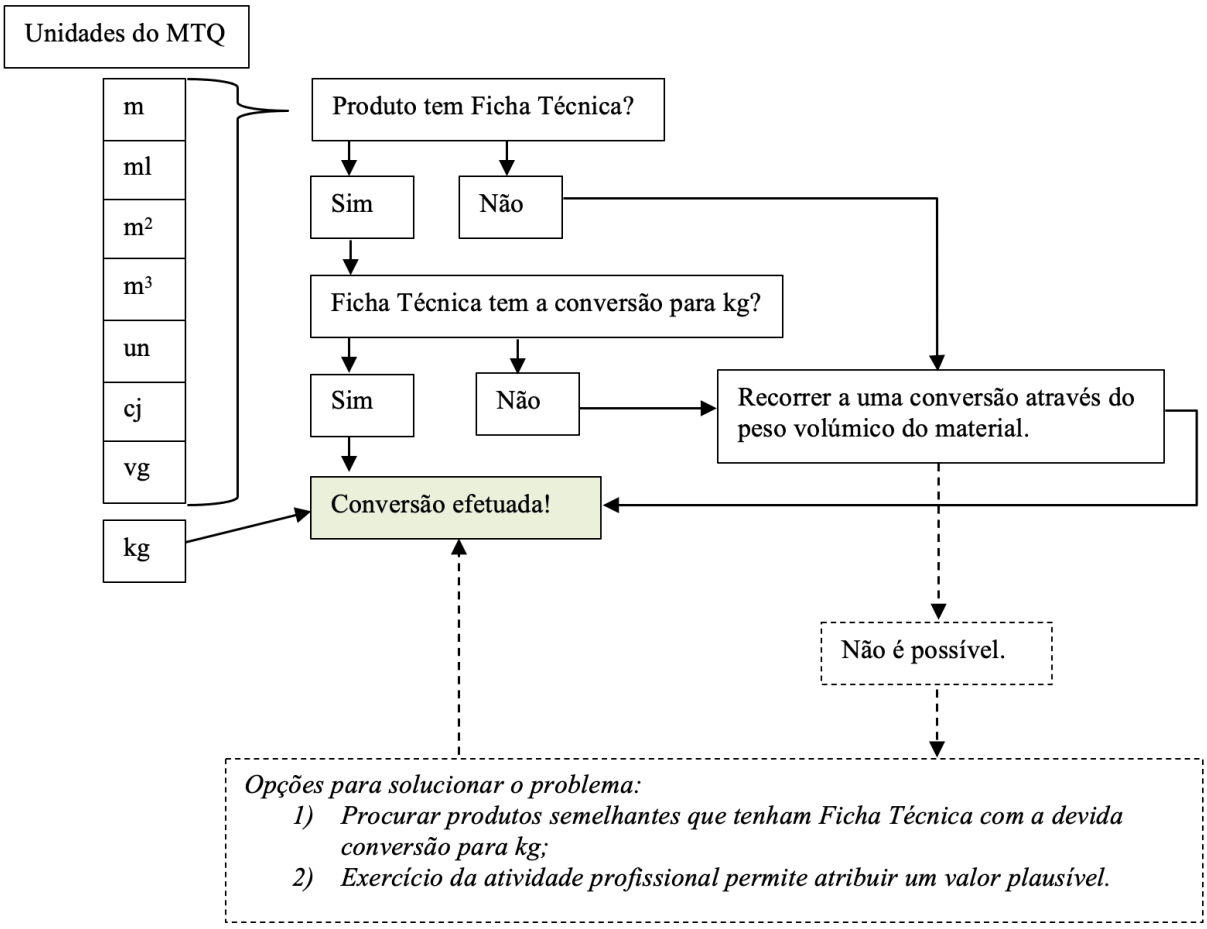


Figura 27 - Fluxograma Conversão de unidades do MTQ para kg

Deve ser adicionada uma coluna no MTQ que correspondente à "Conversão" a efetuar, ou seja, a reduzida quantidade de itens que já estão expressos em quilograma, não exige nenhuma conversão e, deste modo, a "Conversão" toma o valor de 1 como se exemplifica através da Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplo 2 retirado do MTQ para a realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg

Item	Unidade	Quantidade	Conversão	Unidade Conversão	Peso (kg)
Escadas metálicas (escada pátio Administrativo + escada Zona Técnica)	kg	9904,00	1	kg	9904,00

Por outro lado, a grande maioria dos itens apresentados no MTQ carece de conversão e, para tal, é prudente recorrer à FT do produto que pode apresentar os consumos por quilograma e, sendo assim, a conversão a realizar está devidamente expressa e identificada. Para exemplificar a situação exposta, utiliza-se um dos itens do MTQ (Tabela 5) e a sua FT é apresenta pela Figura 28.

Tabela 5 - Exemplo 3 retirado do MTQ para a realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg

Item	Unidade	Quantidade	Conversão	Unidade Conversão	Peso (kg)
Impermeabilização e proteção dos elementos enterrados de betão com aplicação de duas demãos cruzadas de emulsão betuminosa tipo Inertol F.	m^2	739,69	0,4	kg	295,88

Cálculo auxiliar 1, "Conversão":

- Massa volúmica: 1,00 kg/dm^3 = 1,00 kg/l
- Consumo: 5 m^2/l/camada
  - Duas demãos → duas camadas → 5/2 m^2/l ⇔ 2/5 l/m^2 = 0,4 l/m^2
- Conversão: 1,00 kg/l x 0,4 l/m^2 = 0,4 kg/m^2
- Resultado Final (Peso): 739,69 m^2 x 0,4 kg/m^2 = 295,88 kg

Construction

Inertol® F

Tinta betuminosa para fundações

Descrição do produto	Tinta betuminosa de elevado poder de penetração e elevado rendimento. Contém solventes.
Utilizações	Para protecção de fundações, pilares e muros de suporte contra a agressividade dos terrenos.
Características/ Vantagens	■ Inertol® F reforça a impermeabilidade do betão. ■ Inertol® F penetrando profundamente, assegura uma boa aderência à base. ■ Resistente ao atrito mecânico no decorrer das operações de aterro.
Dados do produto	
Aspecto / Cor	Líquido negro.
Fornecimento	Embalagens de 5, 20 e 200 litros.
Armazenagem e conservação	O produto conserva-se durante 24 meses a partir da data de fabrico, na embalagem original não encetada. Armazenar em local seco e ao abrigo da luz solar directa.
Dados técnicos	
Base química	Betuminoso.
Massa volúmica	1,00 ± 0,02 kg/dm^3
Teor de sólidos	Em volume: 58 ± 2%.
Resistência	
Resistência química	Resiste à acção agressiva dos solos e ao contacto com água, mesmo agressiva.
Informação sobre o sistema	
Estrutura do sistema	**Sobre betão ou reboco:** 1 – 2 x Inertol® F.
Pormenores de aplicação	
Consumo/ Dosagem	Aprox. 4 – 6 m^2/l/ camada.

Figura 28 - Excerto da FT de Inertol F [36]

Os dois casos anteriormente apresentados estão livres de qualquer tipo de discussão dada a facilidade e meios para realizar a conversão para quilograma. Deste modo, a dificuldade surge através de duas hipóteses: quando a FT do produto não apresenta o seu peso ou os seus consumos ou, por outro lado, não existe FT do produto.

Uma das resoluções possíveis é recorrer ao peso volúmico do material e, além disso, no caso do item do MTQ estar expresso em metro cúbico, a conversão é obtida utilizando diretamente o valor expresso na Tabela 6 (Caso dos Itens 1 e 5 da Tabela 7). No entanto, no caso de estar expresso em metro quadrado e a sua espessura ser fornecida, é possível converter esse valor para metro cúbico e, de seguida, recorrer novamente à Tabela 6 (Caso do Itens 2 e 6 da Tabela 7). Noutro sentido, no caso de estar expresso em metro, ser possível conhecer a espessura e, por fim, tratar-se de um produto que permita o cálculo do

seu volume ou área, utiliza-se com sucesso novamente a tabela mencionada (Caso dos Itens 3 e 4 da Tabela 7). Por conseguinte, apresenta-se a tabela com os valores do peso volúmico mediante os tipos de material que foram necessários utilizar.

Tabela 6 - Peso volúmico utilizado por tipo de material [37]

Material	Material (Tradução para Português)	Peso Volúmico (kg/m^3)
Concrete or cementitious	Betão ou argamassas cimentícias	2650
Glass	Vidro	2500
Metal	Metal	7850
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Plástico, polímero, resina, tinta, produtos químicos & betuminosos	900
Stone or aggregate	Pedra ou agregado	1600
Timber or timber based	Madeira ou à base de madeira	600

A Tabela 7 apresenta um exemplo para cada tipo de material referido na tabela anterior, respetivamente. Refere-se ainda que, para o item 3 a sua FT é apresentada pela Figura 29.

Tabela 7 - Exemplo 4 retirado do MTQ para realizar a Conversão de unidades do MTQ para kg

Item	Unidade	Quantidade	Conversão	Unidade Conversão	Peso (kg)
1) Execução de camada de betão de limpeza para nivelamento das bases das fundações, em betão simples C12/15 · X0(P) · Cl 0,40 · Dmáx22, com 5cm de espessura.	m^3	31,27	2650	kg	82.865,50
2) Fornecimento e montagem de espelho Float incolor com 5mm de espessura, com arestas biseladas, aplicado à face das paredes.	m^2	2,85	(0,005x2500) 12,5	kg	35,63
3) Fornecimento e montagem de condutas circulares do tipo SPIRO, em chapa de aço galvanizado Z275, conforme especificado no manual do fabricante: ø125	m	19	(Ver cálculo auxiliar 2) 0,9226	kg	17,53
4) Tubo corrugado Ø63mm	ml	595	(Ver cálculo auxiliar 3) 0,0884	kg	52,57
5) Aterro controlado na envolvente de sapatas e vigas de fundação.	m^3	995,54	1600	kg	1.592.864,00
6) Fornecimento e aplicação de revestimento de paredes em VIROC CINZA BRUTO de 12mm de espessura.	m^2	18	(0,012 x 600) 7,2	kg	129,60

Cálculo auxiliar 2, "Conversão" Item 3:

- Diâmetro exterior: 0,125 m
- Espessura: 0,0006 m (retirada através da FT)
- Comprimento: 19 m
- Cálculo da área: **[**π x [$(0{,}125)^2 - (0{,}1244)^2$] / 4**]** m^2
- Conversão (recorrendo ao peso volúmico): **[**7850 x [π x [$(0{,}125)^2 - (0{,}1244)^2$] / 4**]]** kg/m
- Resultado Final (Peso): **[**7850 x [π x [$(0{,}125)^2 - (0{,}1244)^2$] / 4] x 19**]** = 17,53 kg

Figura 29 - Excerto da FT de Conduta Circular [38]

Cálculo auxiliar 3, "Conversão" Item 4:

- Diâmetro tubo: 0,063 m
- Espessura: 0,001 m (obtida através de medição na obra caso de estudo)
- Comprimento: 595 ml
- Cálculo da área: **[**π x [$(0{,}063)^2 - (0{,}062)^2$] / 4**]** m^2
- Conversão (recorrendo ao peso volúmico): **[**900 x [π x [$(0{,}063)^2 - (0{,}062)^2$] / 4**]]** kg/m
- Resultado Final (Peso): **[**900 x [π x [$(0{,}063)^2 - (0{,}062)^2$] / 4] x 595**]** = 52,57 kg

Em síntese, apresenta-se, na Figura 30, o fluxograma com a metodologia anteriormente enunciada relativa à conversão, através do peso volúmico do material, quando a FT não contém informações acerca dos consumos do material, ou quando o produto não tem FT.

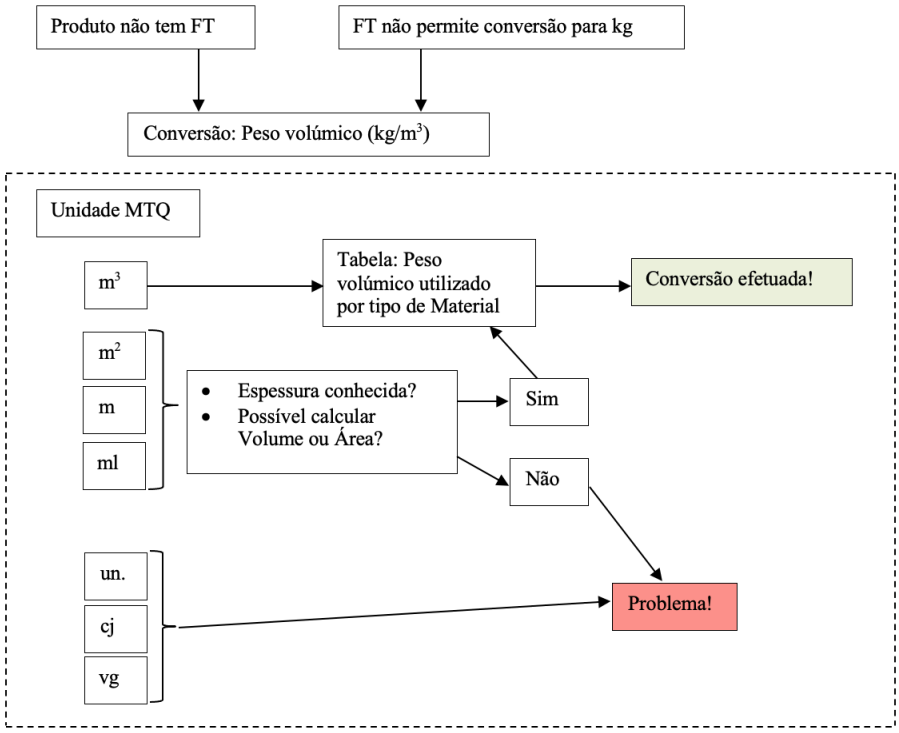


Figura 30 - Fluxograma Conversão de Unidades do MTQ para kg

Aconselha-se a leitura do ponto 4.2.4.2 para uma melhor compreensão de como solucionar o problema exposto, partindo como base das opções descritas no fluxograma da Figura 27 (Procurar produtos semelhantes que tenham FT com a devida conversão para quilograma e Exercício da atividade profissional permite atribuir um valor plausível).

Na Figura 31 surge, novamente, o fluxograma para situar o leitor.

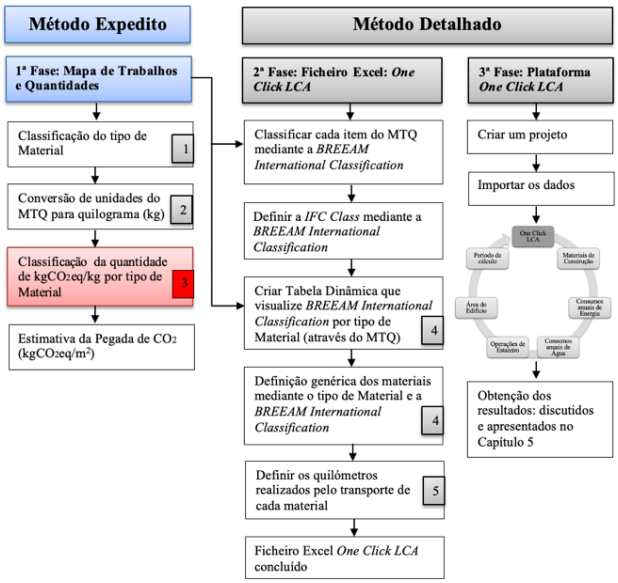


Figura 31 - Terceira etapa do Método Expedito

Concluída a segunda etapa do processo, torna-se necessário atribuir a cada tipo de material um Coeficiente de Carbono que traduz em $kgCO_2eq/kg$ o carbono incorporado em cada tipo de material. Recorreu-se à nomenclatura da Tabela 2 para atribuir os respetivos coeficientes.

Os valores apresentados na Tabela 8 correspondem a valores intermédios retirados da base de dados *Inventory of Carbon and Energy* da *University of Bath* (ICE) [39], que possui uma vasta variedade de coeficientes disponíveis. Note-se que, no ponto 4.2.4.3, são fornecidas, em detalhe, as considerações efetuadas para selecionar os valores exposto na Tabela 8 e, além disso, esclarece-se a dúvida que pode surgir relativamente à proveniência do elevado valor atribuído à classificação *Other* (Outro). A versão completa dos valores propostos pelo ICE encontra-se no Anexo 1, para que se compreenda melhor a origem dos coeficientes selecionados.

Tabela 8 - Coeficientes de Carbono por tipo de material

Material	Material (Tradução para Português)	Coeficientes de Carbono ($kgCO_2eq/kg$)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	Fibra ou pele de origem animal, fibra de celulose	3,9
Clay based	À base de argila	0,78
Concrete or cementitious	Betão ou argamassas cimentícias	0,198
Glass	Vidro	1,35
Gypsum	Gesso	0,39
Metal	Metal	2,03
Other	Outro	7
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Plástico, polímero, resina, tinta, produtos químicos & betuminosos	1,86
Stone or aggregate	Pedra ou agregado	0,0052
Timber or timber based	Madeira ou à base de madeira	0,31

Acrescente-se que esta classificação deve ser aplicada aos três tipos de material mencionados no primeiro passo: "Material 1", "Material 2" e "Material Remanescente".

A Figura 32 apresenta a última etapa do Método Expedito que se designa "Estimativa da Pegada de CO_2". É importante referir que a Pegada de CO_2 refere-se ao dióxido de carbono equivalente, todavia utiliza-se essa denominação por simplicidade e objetivação da linguagem. O mesmo sucede na última linha da Tabela 9 designada "Pegada CO_2 Item".

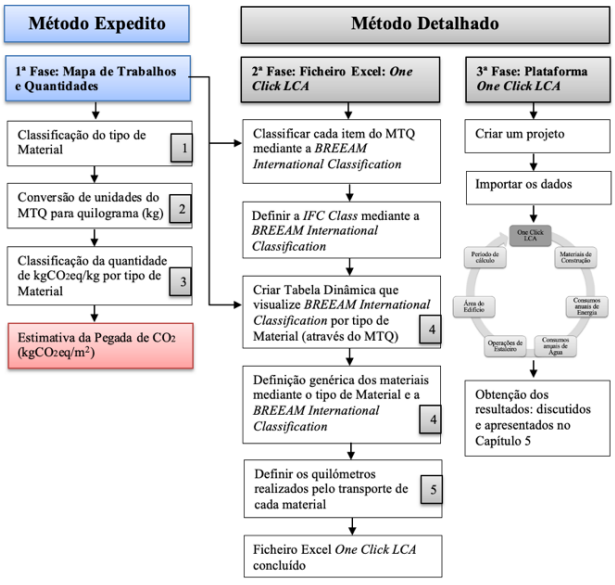


Figura 32 - Quarta etapa do Método Expedito

Cada item do MTQ está devidamente classificado e apto para ser efetuado o cálculo do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono. Primeiramente, realiza-se o cálculo de cada item e, de seguida, através do somatório de todos os valores dos itens do MTQ, obtém-se o valor final da Pegada de Carbono. Recorre-se ao primeiro exemplo apresentado para demonstrar como se realiza o cálculo de cada item (Tabela 9), utilizando todas as parcelas necessárias: Item, Unidade, Quantidade, Conversão, Unidade Conversão (kg), Peso (kg), Material 1, Percentagem Material 1 (%), Quantidade Material 1 (kg), Coeficiente de Carbono Material 1 ($kgCO_2eq/kg$), Pegada Material 1 ($kgCO_2eq$) (idem para o "Material 2" e para o "Material Remanescente") e, por fim, Pegada de Carbono do Item ($kgCO_2eq$). Refere-se que se sublinha a cinzento as parcelas que, até ao momento, não tinham sido expostas.

Tabela 9 - Exemplo 1 retirado do MTQ para realizar a Estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono

Item	Execução de revestimentos autoportantes em placas de gesso cartonado tipo Knauf, sistema W626, compostas por duas placas Knauf standard A, com 12,5mm de espessura, montantes interiores de 70mm em aço galvanizado, incluindo isolamento interior em lã mineral tipo Knauf de 50mm de espessura e 40Kg/m³ de densidade, tratamento das juntas com pastas e cintas apropriadas, barramento total das superfícies para posterior pintura com tinta aquosa e todos os materiais e trabalhos necessários para o seu perfeito acabamento.
Unidade	m^2
Quantidade	7
Conversão	124 (obtido através da FT)
Unidade Conversão	kg
Peso (kg)	(7 x 124) 868
Material 1	Gypsum (Gesso)
Percentagem Material 1	40%
Quantidade Mat. 1 (kg)	(0,4 x 868) 347,2
Coef. Material 1 ($kgCO_2eq/kg$)	0,39
Pegada Material 1 ($kgCO_2eq$)	(0,39 x 347,2) 135,408
Material 2	Metal (Metal)
Percentagem Material 2	20%
Quantidade Mat. 2 (kg)	(0,2 x 868) 173,6
Coef. Material 2 ($kgCO_2eq/kg$)	2,03
Pegada Material 2 ($kgCO_2eq$)	(2,03 x 173,6) 352,408
Material Remanescente	Other (Outro)
Percentagem Material Remanescente	40%
Quantidade Mat. Remanescente (kg)	(0,4 x 868) 347,2
Coef. Material Remanescente ($kgCO_2eq/kg$)	7
Pegada Material Remanescente ($kgCO_2eq$)	(7 x 347,2) 2430,4
Pegada CO_2 Item ($kgCO_2eq$)	(135,408 + 352,408 + 2430,4) 2918,216

Concluído o cálculo do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono de cada item do MTQ, realiza-se o somatório de todas as parcelas existentes. O valor do somatório mencionado é divido pela área bruta de construção para se obter o resultado final em $kgCO_2eq/m^2$. Esta estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono é importante para informar o cliente de qual será a pegada da sua obra, ou seja, deve ser realizado, como indicado inicialmente, em fase de pré-dimensionamento. Acrescente-se também que, nem todas as empresas terão a possibilidade de utilizar a plataforma *One Click LCA* devido aos custos elevados que lhe estão associados e, nessa medida, obter este valor já permite uma boa estimativa.

Do ponto de vista académico, é um exercício bastante revelador na medida em que permite discernir quais os materiais mais influentes na ACV. Visto que todos os itens do MTQ foram classificados com, pelo menos, um tipo de material e esse está sempre associado a um coeficiente de carbono, identificam-se, de forma simples, os materiais que são necessários modificar para reduzir a Pegada de Carbono.

Em conclusão, o Método Expedito, apresentado e desenvolvido pela autora, consegue fornecer o valor do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono de uma obra de engenharia civil de forma intuitiva e eficaz, tendo em consideração todos os elementos presentes no MTQ, assim como todo o seu peso. No ponto 5.3 procede-se a uma comparação dos dados obtidos pelo método proposto, com os obtidos de uma forma detalhada recorrendo à plataforma *One Click LCA*.

4.2.2. Método Detalhado: Segunda Fase - Utilização e Preenchimento do Ficheiro Excel a Submeter na Plataforma *One Click LCA*

A segunda fase da metodologia consiste na utilização do ficheiro Excel fornecido pelo *software One Click LCA*. A primeira etapa ainda envolve o MTQ e requer, novamente, outra classificação (Figura 33).

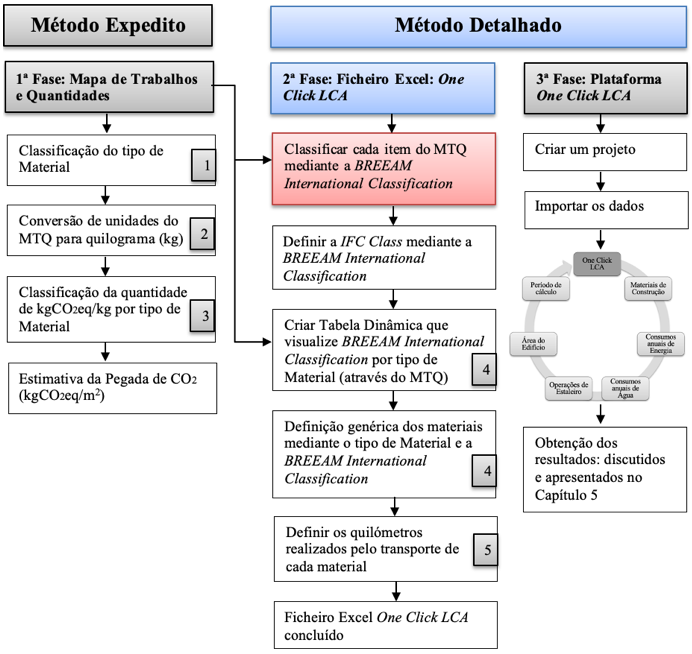


Figura 33 - Primeira etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

É necessário que cada item do MTQ seja classificado com uma das opções disponíveis da *BREEAM International Classification* [1]. É importante referir que, as opções apresentadas na Tabela 10 são apenas fornecidas a profissionais que possuam o certificado BREEAM. A autora teve acesso a esse

conteúdo por contacto direto com a equipa responsável por essa especialidade. Neste seguimento, apresenta-se a tabela com as possibilidades permitidas para realizar a classificação.

Tabela 10 - *BREEAM International Classification*

BREEAM International Classification	**Classificação Internacional BREEAM (Tradução para Português)**
Balustrades and handrails	Balaustradas e corrimões
Basements/retaining walls (including excavation)	Caves/ muros de contenção (incluindo escavação)
Communication, Security and Control Systems	Sistemas de Comunicação, Segurança e Controle
Electrical Installations	Instalações Elétricas
External solar shading devices, access structures etc.	Dispositivos exteriores de proteção solar, estruturas de acesso, etc.
External walls (envelope, structure and finishes)	Paredes exteriores (envolvente, estruturas e acabamentos)
External windows and rooflights	Janelas exteriores e claraboias
Fire and Lightning Protection	Proteção contra incêndio e para-raios
Foundations (including excavation)	Fundações (incluindo escavação)
Ground/lowest floor	Piso térreo ou inferior
Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	Arranjos exteriores, cercas, grades e paredes
Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	Arranjos exteriores, estradas, caminhos e pavimentos
Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	Fonte de calor, Aquecimento ambiente, Ar condicionado, Ventilação
Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	Acabamentos de teto interior (incluindo tetos suspensos/ acesso)
Internal doors	Portas interiores
Internal floor finishes (incl. access floors)	Acabamentos de pisos interiores (incluindo pisos de acesso)
Internal wall finishes	Acabamentos de paredes interiores
Internal walls and partitions	Paredes e divisórias interiores
Internal windows	Janelas interiores
Lift and Conveyor Installations / Systems	Instalações/ Sistemas de elevação
Roof (including coverings)	Coberturas (incluindo telhados)
Sanitary Installations	Instalações sanitárias
Stairs and ramps	Escadas e rampas
Structural frame (vertical)	Elementos estruturais verticais
Upper floors (including horizontal structure)	Pisos superiores (incluindo estrutura horizontal)
Water and waste installations	Instalações de águas e resíduos
Not defined	Não definido

Esta classificação deve ser aplicada a todos os itens do MTQ e, dada a sua vasta variedade de opções, considera-se que a mesma não exige discussão crítica no ponto 4.2.4, destinado às considerações efetuadas na metodologia proposta.

A Figura 34 salienta a segunda etapa.

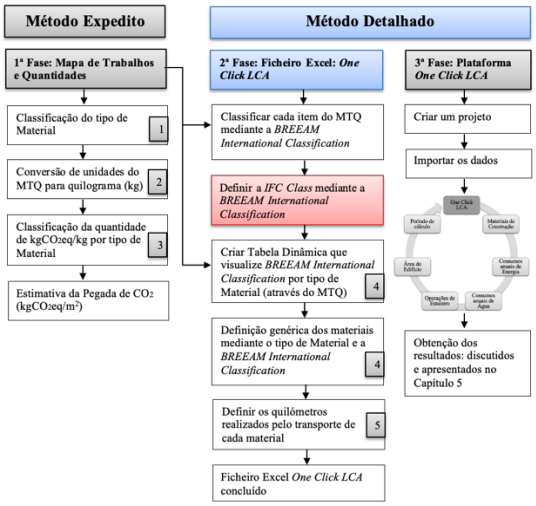


Figura 34 - Segunda etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

No ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA*, é ainda necessário realizar outra classificação designada como *IFC Class* [40]. Esta classificação, exigida pelo *software*, baseia-se na *Industry Foundation Classes* (IFC) que, com base no que se averiguou, segue a norma ISO 16739-1:2018, ou seja, trata-se de uma classificação universal. Apresentam-se as opções disponíveis através da Tabela 11.

Tabela 11 - *IFC Class*

IFC Class
Beam
Buildingtech
Column
Covering
District Cooling
District Heating
Door
Electricity
External Wall
Finish
Foundation
Fuel
Furniture
Horizontal Finish
Internal Wall
Other
Roof
Site
Slab
Stairs
Systems
Vertical Finish
Wall
Water
Window

Constata-se que a classificação exposta na Tabela 11 é menos exigente do que anterior, a sugerida pelo BREEAM. Tal facto permitiu que a autora procedesse a uma associação da *BREEAM International Classification* à *IFC Class*, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Associação entre *BREEAM International Classification* e *IFC Class* (*One Click LCA*)

BREEAM International Classification	IFC Class (One Click LCA)
Balustrades and handrails	Stairs
Basements/retaining walls (including excavation)	Foundation
Communication, Security and Control Systems	Systems
Electrical Installations	Systems
External solar shading devices, access structures etc.	Roof
External walls (envelope, structure and finishes)	External Wall
External windows and rooflights	Window
Fire and Lightning Protection	Systems
Foundations (including excavation)	Foundation
Ground/lowest floor	Slab
Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	Site
Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	Site
Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	Systems
Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	Covering
Internal doors	Door
Internal floor finishes (incl. access floors)	Horizontal Finish
Internal wall finishes	Vertical Finish
Internal walls and partitions	Internal Wall
Internal windows	Window
Lift and Conveyor Installations / Systems	Buildingtech
Roof (including coverings)	Roof
Sanitary Installations	Systems
Stairs and ramps	Stairs
Structural frame (vertical)	Column
Upper floors (including horizontal structure)	Beam
Water and waste installations	Systems
Not defined	Other

Surge o fluxograma da Figura 35 para situar o leitor.

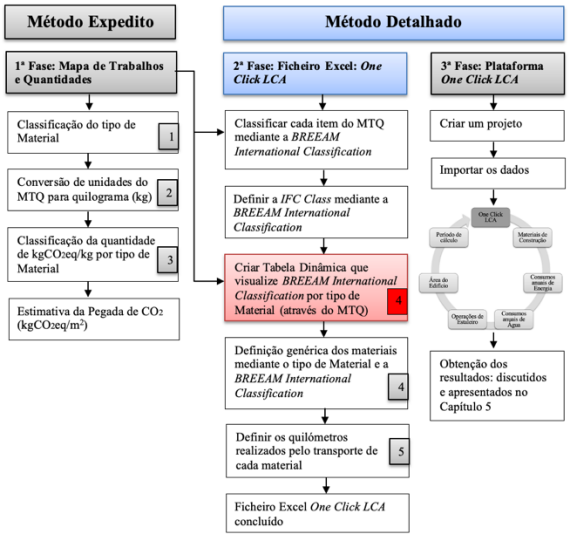


Figura 35 - Terceira etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

Neste ponto, seguindo todas as tarefas apresentadas, a classificação do MTQ está concluída. Com recurso a uma tabela dinâmica realizada no Excel, é possível visualizar, para cada categoria da classificação BREEAM (Tabela 10), o Peso (kg) por tipo de material (Tabela 2). De referir que esta etapa depende da perfeita realização da primeira fase da metodologia e da classificação BREEAM efetuada anteriormente. A originalidade de realizar a tabela dinâmica surge após a autora compreender e interpretar as etapas que daí advêm, uma vez que todo este processo é otimizado e efetuado de forma produtiva pela inclusão deste passo no Excel.

Apresenta-se um excerto da tabela dinâmica (Tabela 13) efetuada para uma melhor compreensão do que a mesma permite visualizar. Esta aparece de forma integral no Capítulo 5, onde também são explicados alguns valores que podem levantar dúvidas ao leitor, nomeadamente o facto de existir uma enorme quantidade de produtos cimentícios nas instalações elétricas (13231 kg).

Tabela 13 - Excerto da Tabela Dinâmica relativa a todo o MTQ

Tabela Dinâmica	Peso (kg)
Balustrades and handrails	**133**
Metal	133
Communication, Security and Control Systems	**135**
Metal	123
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	12
Electrical Installations	**100354**
Clay based	600
Concrete or cementitious	13231
Metal	82008
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	4514
External solar shading devices, access structures etc.	**27296**
Metal	24633
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	2663
External walls (envelope, structure and finishes)	**1878604**
Concrete or cementitious	1666744
Metal	90243
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	121617

É de notar que, para realizar a tabela dinâmica apenas foi tida em consideração a classificação do tipo de "Material 1", ou seja, os materiais que aparecem seguidos da classificação BREEAM (apresentada a negrito) correspondem ao "Material 1" identificado na primeira etapa. Esta ponderação deve incentivar o leitor à consulta do ponto 4.2.4.4 para clarificação dos procedimentos.

Segue-se o fluxograma da Figura 36 para enquadramento da exposição.

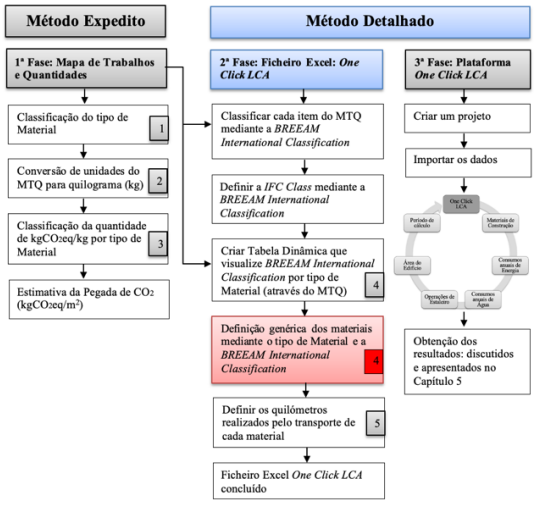


Figura 36 - Quarta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

A penúltima etapa da segunda fase consiste em atribuir uma definição genérica do produto, em função do tipo de material e da sua classificação BREEAM. Compreende-se aqui a utilidade e necessidade de realizar primeiramente a tabela dinâmica apresentada. Para o presente caso, torna-se necessário definir 68 materiais, os que constam na tabela dinâmica apresentada integralmente no próximo capítulo, Tabela 37. Para definir o material deve-se consultar o MTQ, analisando quais os itens associados a cada uma das 68 categorias, e decidir qual a definição genérica que melhor se enquadra.

Melhor explicando, foi necessário agrupar os itens pela sua relevância e peso global relativo, percorrendo toda a tabela dinâmica. Neste seguimento, o primeiro caso da Tabela 13 tem a classificação BREEAM *Balustrades and handrails* e o "Material 1" associado é *Metal*, com um peso total de 133 kg. Sendo assim, a Tabela 14 apresenta os itens do MTQ com essas características. Visto que o exemplo serve apenas de explicação para a etapa da definição genérica, são omitidas as outras colunas que, para o presente caso, não são relevantes.

Tabela 14 - Exemplo 5 retirado do MTQ para realizar a Definição genérica

Item	BREEAM International Classification	Unidade	Quantidade	Conversão	Unidade Conversão	Peso (kg)	Material 1	Percentagem de Material 1
Fornecimento e montagem de pinos de protecção às portas, em tubo de aço laminado a quente de Ø101,6x6,3mm, com tratamento a primário epoxido de zinco e pintura de acabamento ao RAL 1032 (amarelo sinalização), com uma altura total de 1,20m, incluindo chapa de base de 5mm de espessura e fixação ao pavimento através de parafuso e porca.	Balustrades and handrails	un	12	9,18	kg	110,13	Metal	100%
Fornecimento e montagem de proteção aos carreteis, em tubo de aço laminado a quente de Ø33,7x4mm, com tratamento a primário epoxido de zinco e pintura de acabamento ao RAL 1032 (amarelo sinalização), incluindo chapa de base de 5mm de espessura e fixação à parede através de parafuso e porca.	Balustrades and handrails	un	12	1,88	kg	22,51	Metal	100%

Através da consulta do MTQ, constam dois itens, os apresentados na Tabela 14, que exigem uma definição genérica. Para este exemplo define-se *Hot rolled steel tube* com um peso total de 133 kg. Optou-se por apresentar a primeira linha da tabela dinâmica que, na verdade, é das mais simples que

consta no MTQ. O assunto aborda-se em detalhe no ponto 4.2.4.4, onde se salientam as considerações necessárias a efetuar e um exemplo que exige mais discussão.

A Figura 37 apresenta o quinto passo da 2ª Fase.

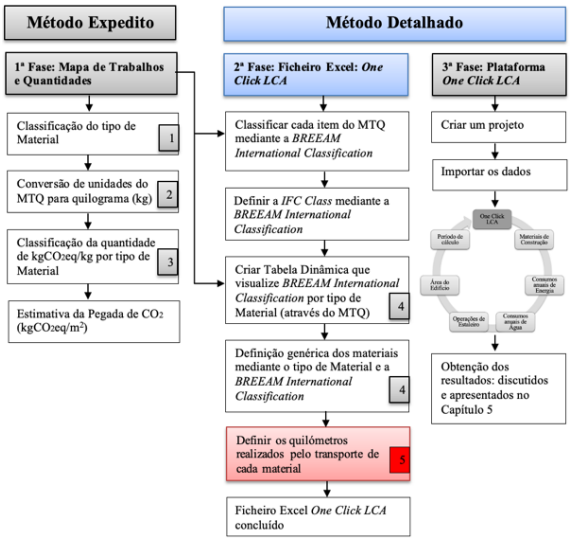


Figura 37 - Quinta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

É necessário definir a quantidade de quilómetros realizados para o transporte de cada material identificado. Naturalmente que numa análise em fase de pré-dimensionamento, esse valor é inexistente e, sendo assim, a solução passa por recorrer a valores de obras anteriores cujos fornecedores dos produtos sejam os mesmos. Como mencionado anteriormente, a presente análise decorre em fase de execução, o que permite utilizar valores mais precisos. Todavia, nesta fase, foi adotado o valor de 100 km para todos os materiais (valor conservador obtido através da média de quilómetros efetuados numa obra, da empresa executante, próxima da do caso de estudo). Porém, informa-se desde já o leitor que esse valor é alterado na utilização da plataforma *One Click LCA* para um mais exato. Acrescente-se que a proveniência da adoção dos 100 km, e que o critério que permitiu alterar esse valor para um mais exato, são explicados e detalhados no ponto 4.2.4.5.

O fluxograma da Figura 38 ilustra na metodologia proposta o último passo da 2ª Fase.

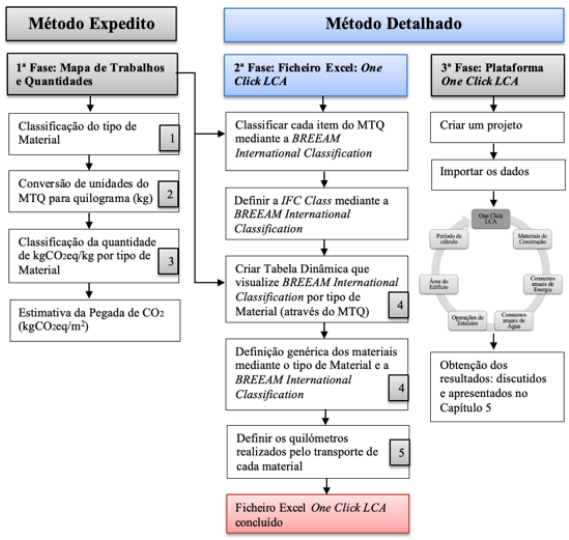


Figura 38 - Sexta etapa da 2ª Fase, Método Detalhado

Concluídas as etapas da segunda fase do processo, o ficheiro Excel encontra-se devidamente preenchido, e cada item, neste caso os 68, devem conter, respetivamente:

- *IFC Class* (CLASS);
- Descrição do material (IFCMATERIAL);
- Quantidade (QUANTITY);
- Unidade (QTY_TYPE);
- Transporte (TRANSPORT_KM);
- Comentário (COMMENT): deve-se indicar o tipo de material que, como mencionado, apenas se recorre ao "Material 1";
- *BREEAM International Classification*

Para uma melhor compreensão e visualização do tipo de ficheiro que se tem vindo a abordar, expõe-se um excerto do mesmo, que é apresentado integralmente no Anexo 2.

Tabela 15 - Excerto do ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA*

CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_ TYPE	TRANSPORT _KM	COMMENT	BREEAM Int'l Mat 01 classification	MAT01 CLASS
STAIRS	Hot rolled steel tube	133	KG	100	Metal	Balustrades and handrails	14
SYSTEMS	Signs of security the Sinalux brand	12	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Communication, Security and Control Systems	19
SYSTEMS	DDC controllers installed and electrified in a specific wall type frame	323	KG	100	Metal	Communication, Security and Control Systems	19
SYSTEMS	Condenser batteries for polluted networks, 200 kVAr	600	KG	100	Clay Based	Electrical Installations	20
SYSTEMS	ERFE tube	4514	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Electrical Installations	20
SYSTEMS	Monoblock concrete R10-10SPL 24 KV	13231	KG	100	Concrete or cementitious	Electrical Installations	20
SYSTEMS	Electrical cable	82008	KG	100	Metal	Electrical Installations	20
ROOF	Sandwich panel type ACH PF1 F0 MIC - Class M acoustic	2663	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	External solar shading devices, access structures etc.	8
ROOF	Metallic structure, in steel profiles S275JR	24633	KG	100	Metal	External solar shading devices, access structures etc.	8
EXTERNAL WALL	Madremax type madres	90243	KG	100	Metal	External walls (envelope, structure and finishes)	1
EXTERNAL WALL	Sandwich panel type ACH PF1 F0 MIC - Class M acoustic	121617	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	External walls (envelope, structure and finishes)	1
EXTERNAL WALL	Reinforced concrete walls C30 / 37, XC1 (P), Cl 0.40, Dmax 22	1666744	KG	100	Concrete or cementitious	External walls (envelope, structure and finishes)	1

Em síntese, a primeira coluna a preencher é a *BREEAM International Classification* (assinalada a verde, na Figura 39), a esta estão associadas a coluna relativa ao tipo de material denominada como *Comment* (assinalada a azul) e a coluna do peso em quilograma (assinalada a vermelho), ambas retiradas da tabela dinâmica. Seguidamente, após a correspondência entre a classificação BREEAM e a *IFC Class* estar efetuada, com auxílio de duas fórmulas do Excel ("Índice" e "Corresponde"), este introduz de forma automática, em cada linha, a devida *Class* (assinalada a roxo). Por fim, como nesta fase o valor dos quilómetros corresponde a 100 km para todos os materiais, esta coluna pode ser preenchida no final.

O parágrafo anterior pode ser traduzido, de forma esquemática, através da Figura 39, que permite ao leitor conseguir visualizar melhor de onde são retiradas as nomenclaturas de cada célula. O esquema é referente apenas à primeira linha do ficheiro Excel, porém o processo é aplicado para os restantes itens,

68 no total como referido. A definição genérica e os quilómetros necessários para o transporte dos materiais não estão assinalados pois, quanto ao primeiro provém da análise do MTQ e, relativamente ao segundo, considera-se o mesmo valor para todos os materiais nesta fase.

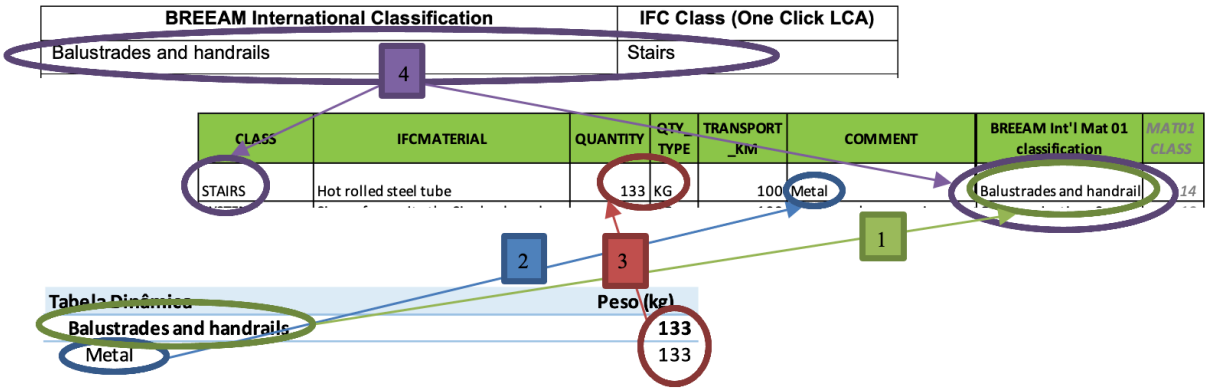


Figura 39 - Esquema síntese do preenchimento do ficheiro Excel

4.2.3. Método Detalhado: Terceira Fase - Utilização da Plataforma *One Click LCA*

A terceira fase da metodologia consiste na utilização da plataforma *One Click LCA* para calcular a ACV e obtém como resultado o valor da Pegada de Carbono do edifício. A Figura 40 mostra a primeira etapa que se realiza na plataforma.

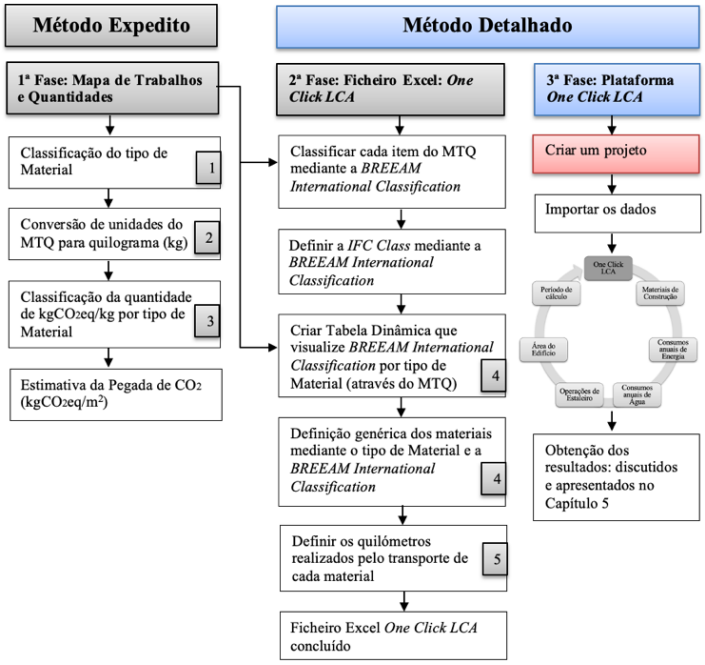


Figura 40 - Primeira etapa da 3ª Fase, Método Detalhado

O primeiro passo consiste em criar um projeto (Figura 41), identificando-o com um nome à escolha do autor (*Study Case*) e, de seguida, de entre as opções expostas na Figura 42, selecionar a que se adequa ao projeto em questão.

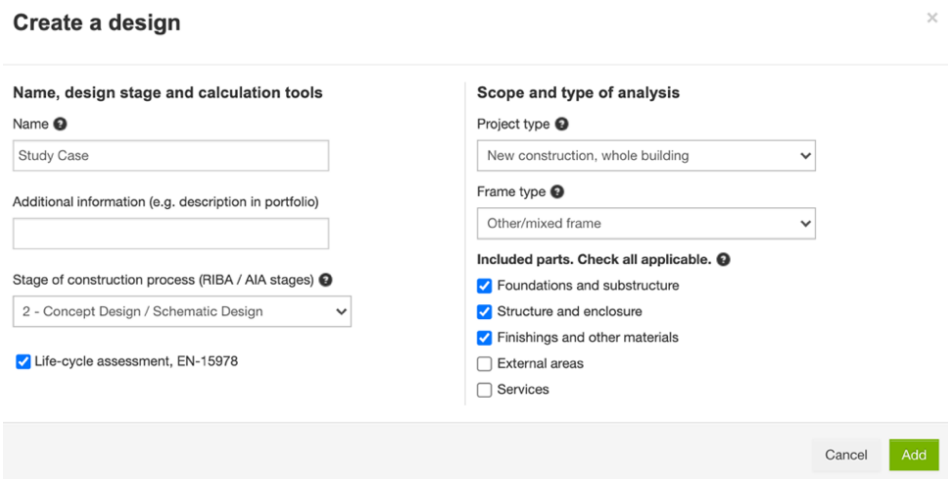


Figura 41 - *Create a design* (Criar um projeto)

Relativamente à etapa do processo de construção (*Stage of construction process*), a opção Estudo de viabilidade (*Concept Design/ Schematic Design*) é a que se enquadra melhor. Seguidamente, quanto ao tipo de projeto (*Project type*), este corresponde a uma construção nova de todo o edifício (*New construction, whole building*) e, por fim, o tipo de estrutura (*Frame type*) considera-se que é mista (*Other/ mixed frame*), devido à presença de elementos de betão armado e estruturas metálicas. A Figura 42 expõe todas as opções disponíveis na plataforma.

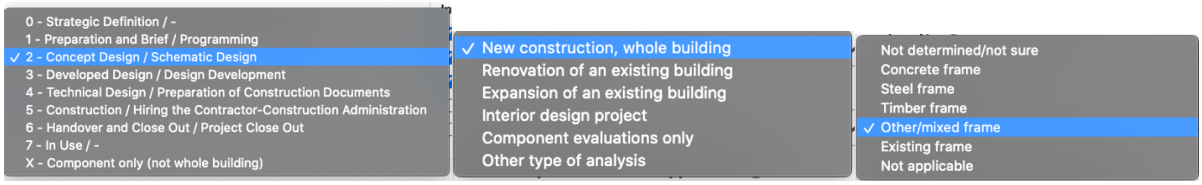


Figura 42 - Opções disponíveis na plataforma e assinaladas as selecionadas para o projeto

Concluída a criação do projeto, torna-se possível importar os dados que permitem realizar o estudo e dar início à segunda etapa da terceira fase, apresentada pela Figura 43.

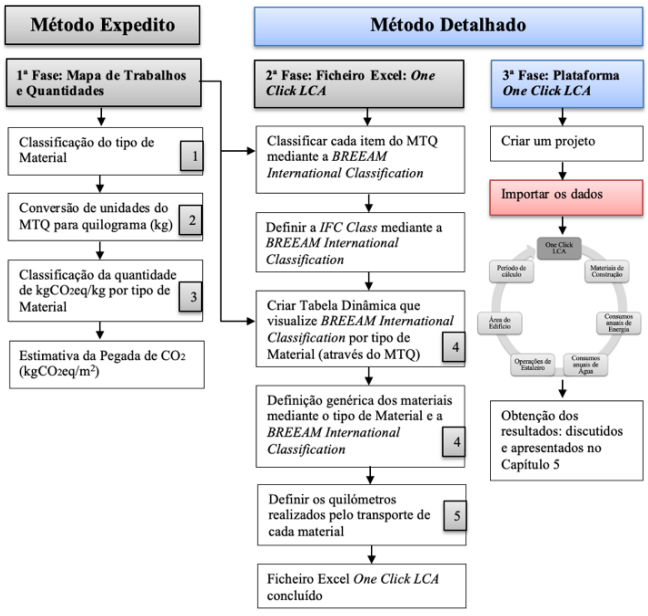


Figura 43 - Segunda etapa da 3ª Fase, Método Detalhado

São sete as tarefas que estão associadas à importação dos dados, como mostra a barra superior apresentada na Figura 44. A primeira consiste em selecionar o ficheiro Excel que foi alvo de discussão no subcapítulo 4.2.2.

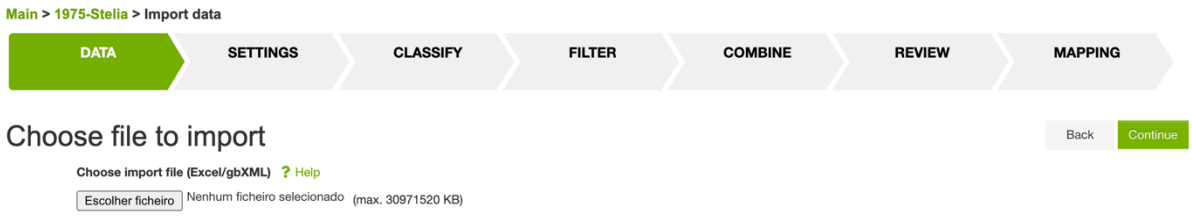


Figura 44 - *Data: Choose file to import* (Escolher o ficheiro a importar)

Nas "Configurações" consegue-se verificar a quantidade de materiais importados pelo ficheiro, neste caso 68, e ainda eleger a ferramenta de cálculo que se pretende (*Choose the tool*: LCA, EN-15978). Acrescente-se que todas as etapas devem ser revistas manualmente, pelo que se aconselha a selecionar essa opção.

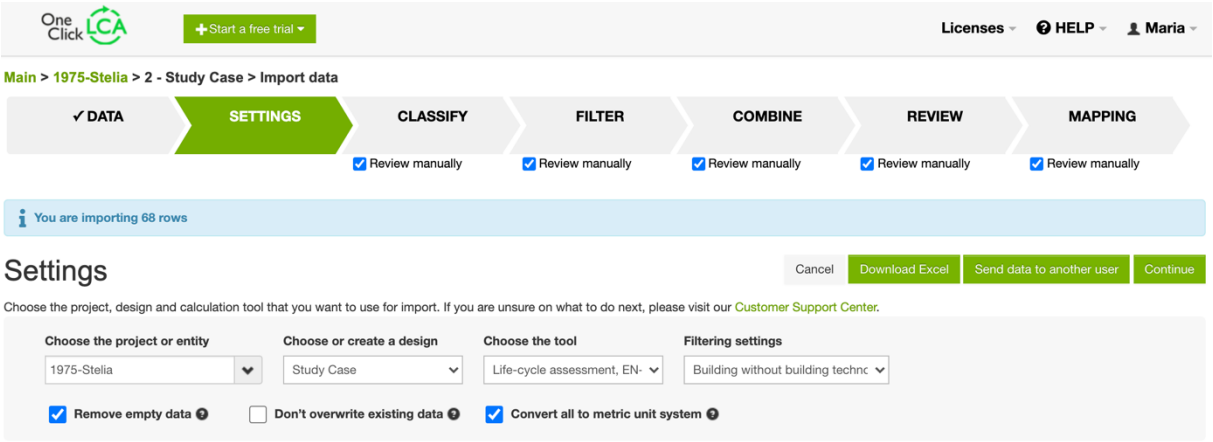


Figura 45 - *Settings* (Configurações)

Tratando-se de uma licença para estudante, a plataforma não fornece acesso à ferramenta BREEAM. Por esse motivo, é eleita a classificação *Building without building technology (BREEAM/ HQE/ YM)* por ser a única que contém a ferramenta BREEAM na sua análise.

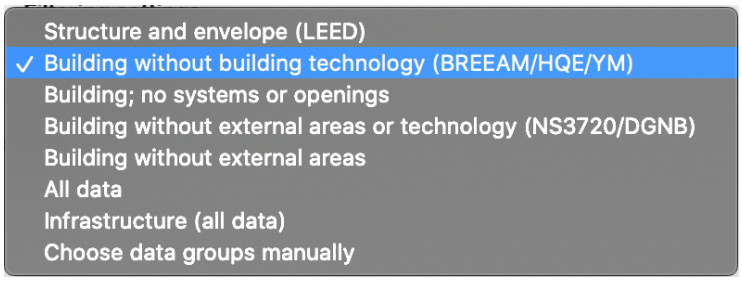


Figura 46 - *Filtering settings*: Opções disponíveis pela plataforma e assinalada a selecionada para o projeto

No que diz respeito à "Classificação", é apenas necessário confirmar que a *Class* (anteriormente realizada no ficheiro Excel) e a *New Class* (sugerida pela plataforma) compreendem a mesma solução. A última coluna representa a classificação que a plataforma atribui na demonstração dos resultados finais, como exibe a Figura 47.

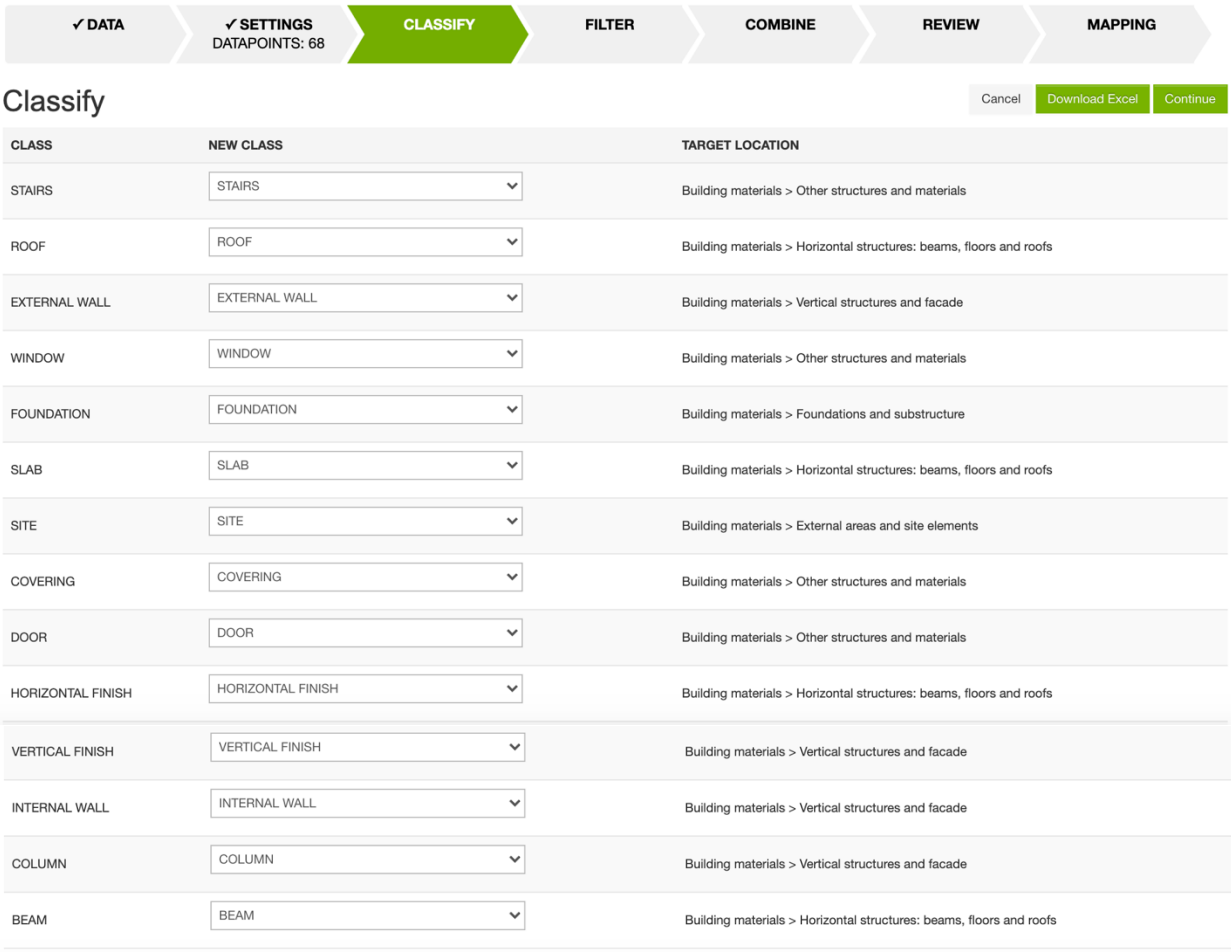


Figura 47 - *Classify* (Classificação)

Seguidamente, na etapa apresentada pela Figura 48, verifica-se se se pretende importar todos os materiais, agrupados pelo tipo de *Class*, presentes no ficheiro Excel. Naturalmente que foram todos selecionados, uma vez que se pretende fazer a análise sem exclusão de nenhum material.

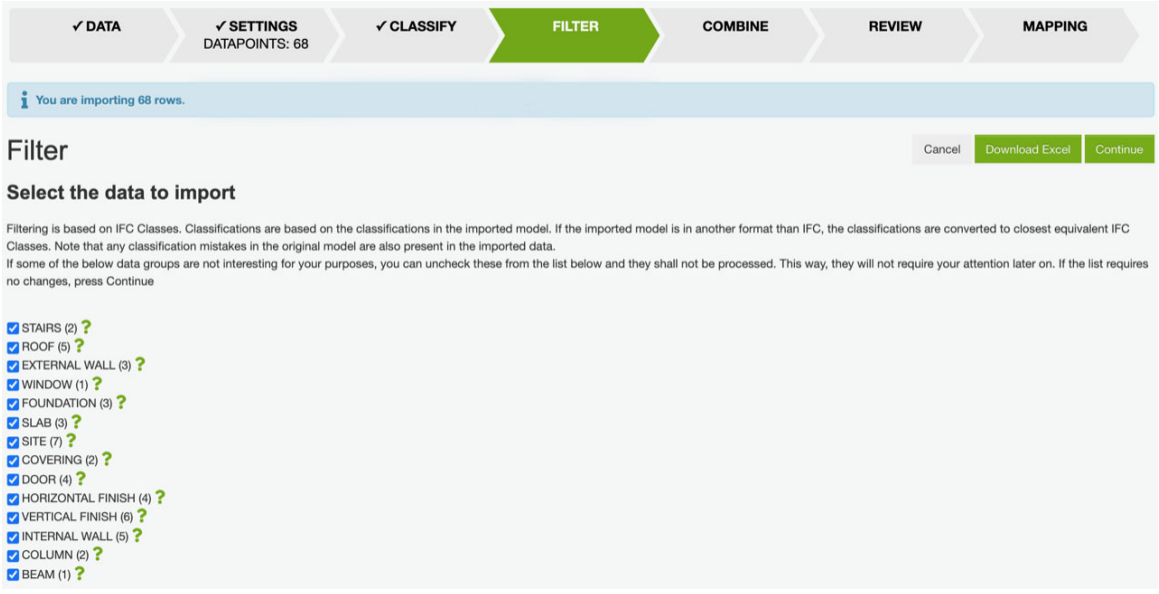


Figura 48 - *Filter* (Filtro)

A três passos de terminar, apresentam-se, na Figura 49, os critérios de agrupamento selecionados que correspondem às colunas utilizadas no ficheiro Excel: CLASS (Tabela 11), IFCMATERIAL (Definição genérica do Material), QTY_TYPE (quilograma, kg), TRANSPORT_KM (100 km), MAT01CLASS (*BREEAM International Classification* - Tabela 10).

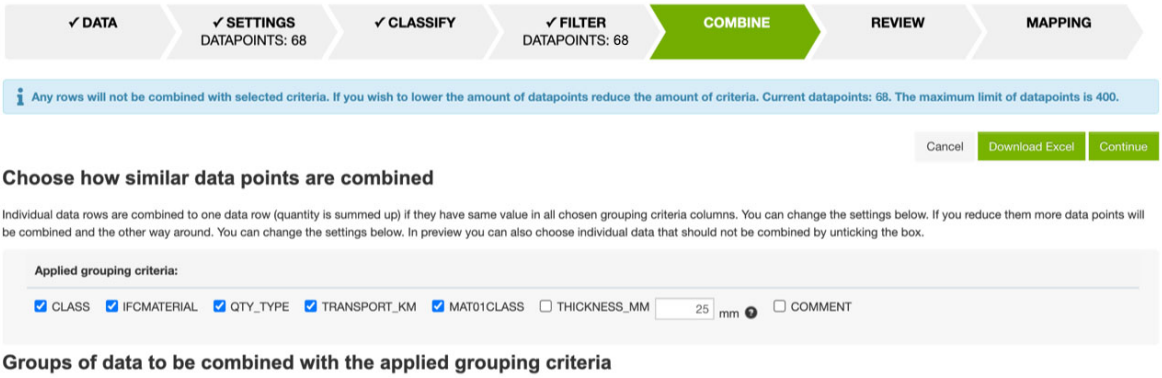


Figura 49 - *Combine* (Agrupamento)

Nesta penúltima tarefa, é possível visualizar e rever todos os materiais importados, a sua definição genérica, a *Class* que lhe está atribuída e por fim a sua quantidade (Figura 50). Ainda nesta fase, é permitido eliminar algum material que esteja indevidamente colocado.

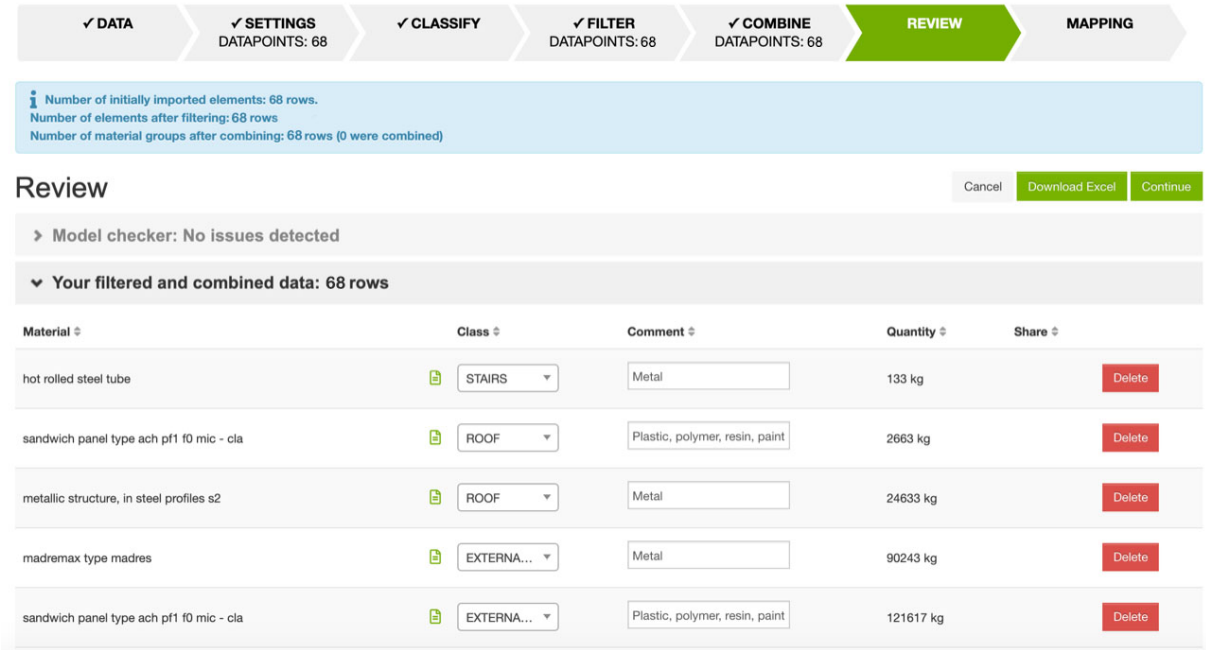


Figura 50 - *Review* (Revisão)

Por fim, realizar a "Correspondência" (Figura 51) é deveras a tarefa mais importante, pois a classificação que for atribuída a cada material será tida em conta no cálculo da ACV. Através da definição genérica realizada pela autora, são poucos os materiais que a plataforma irá assumir a correspondência direta. A coluna *Resource name* destina-se à procura do produto e onde estão disponíveis as opções a utilizar.

Tratando-se o caso de estudo de uma obra em Portugal, são poucos os produtos portugueses que constam na plataforma. Sendo assim, a alternativa consiste em recorrer a produtos de outros países, que podem provocar algumas alterações nos resultados obtidos. No entanto, como o *software* não está adaptado para a realidade nacional, é inevitável utilizar na análise produtos internacionais. Deste modo, quando

o produto efetivamente utilizado não consta na plataforma, o critério de seleção tem por base o grau de maturidade da tecnologia construtiva e de produção de matérias-primas.

Melhor explicando, o primeiro critério diz respeito à proximidade local, por ordem decrescente de interesse, ou seja, os dois países utilizados são Espanha e França. Seguidamente, o outro critério tem em consideração a maturidade de materiais de construção e, por esse motivo, utilizam-se produtos provenientes da Alemanha, Itália e países de leste como Polónia e Roménia. Por fim, no caso dos países referidos não apresentarem o produto pretendido, selecionam-se produtos de países nórdicos como a Dinamarca e Finlândia e também o Reino Unido. É importante referir que estes são a última opção visto que, tanto a nível industrial como tecnológico, são países bastante mais desenvolvidos do que Portugal.

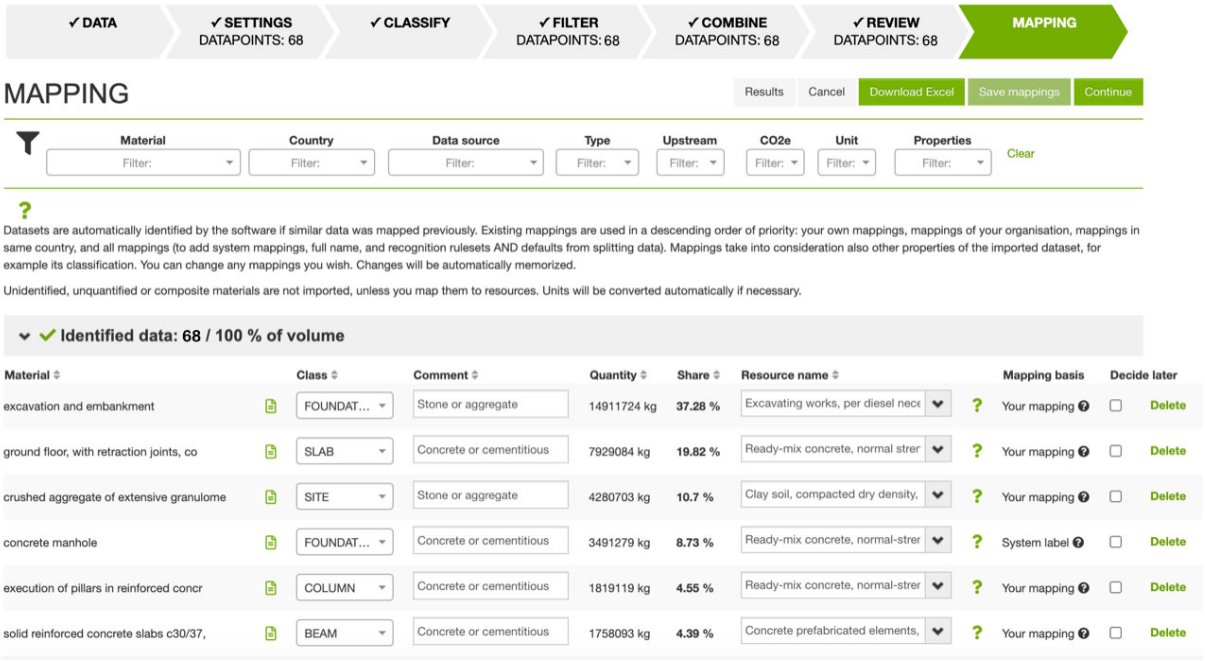


Figura 51 - *Mapping* (Correspondência)

Considera-se interessante referir que a plataforma *One Click LCA* recorre a uma base de dados nacional, a DAP Habitat. No entanto, como a mesma apenas contém treze produtos, os apresentados pela Figura 52, é reduzida a probabilidade de recorrer, na generalidade, a produtos portugueses. Naturalmente que existem muitas outras DAP's disponíveis em sites de empresas, porém como não estão registadas no *software*, não são tidas em consideração.

As DAP's são declarações ambientais de produto elaboradas pelo fabricante, que apresentam informação ambiental quantificada sobre o ciclo de vida de um produto, de acordo com a classificação NP ISO 14025:2009. Estas declarações são baseadas, não só em dados de avaliação do ciclo de vida verificados de forma independente, como também em dados de inventários do ciclo de vida ou módulos de informação, em conformidade com a série de Normas ISO 14040. Acrescente-se que as DAP's podem ser reconhecidas a nível internacional, uma vez realizadas através de bases normativas internacionais como a ISO 14025 e as séries ISO 14040. Por conseguinte, as entidades responsáveis pelas DAP's ganham credibilidade com os seus produtos no mercado da exportação. [41]

Compreende-se a importância dos produtores recorrerem às DAP's, pois estas providenciam a informação necessária para a escolha dos produtos com menores impactes ambientais ao longo do seu ciclo de vida. Na verdade, o facto dos produtores estarem cada vez mais conscientes da necessidade de

transformar o ambiente construído, tornando-o mais sustentável, intensifica a crescente procura de materiais e soluções de baixo impacte ambiental.

EMPRESA	NOME	Nº DAPHabitat	Nº ECOPlatform	Data de registo	Válido até
ARGEX - ARGILA EXPANDIDA, S.A.	Agregado Leve de Argila Expandida	DAP 006:2019	00001034	06/11/2019	01/08/2024
MEGASA – SIDERURGIA NACIONAL – EPL, S.A.	ASIC - Agregado Siderúrgico Inerte para a Construção	DAP 005:2019	00000954	11/07/2019	23/04/2024
TERMOLAN – ISOLAMENTOS TERMO-ACÚSTICOS, S.A.	Lã de Rocha	DAP 001:2019	00000909	08/04/2019	14/02/2024
PAVIGRÉS CERÂMICAS, S.A.	Monoporosa	DAP 004:2019	00000880	20/03/2019	27/02/2024
PAVIGRÉS CERÂMICAS, S.A.	Grés Vidrado	DAP 003:2019	00000879	20/03/2019	27/02/2024
PAVIGRÉS CERÂMICAS, S.A.	Grés Porcelânico	DAP 002:2019	00000878	20/03/2019	27/02/2024
LECA PORTUGAL S.A.	Agregado Leve de Argila Expandida	DAP 001:2017	00000628	24/07/2017	23/07/2022
AMORIM ISOLAMENTOS, S.A.	Granulado de Cortiça Expandida	DAP 003:2016	00000465	30/11/2016	05/10/2021
AMORIM ISOLAMENTOS, S.A.	Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)	DAP 002:2016	00000464	30/11/2016	05/10/2021
SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL, S.A.	WEBER.THERM NATURA	DAP 001:2016	00000339	04/01/2016	03/01/2021
SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL, S.A.	WEBER.REV NATURKAL	DAP 003:2015	00000338	20/10/2015	19/10/2020
SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL, S.A.	WEBER.THERM KAL	DAP 002:2015	00000337	20/10/2015	19/10/2020
SOFALCA - SOC. CENTRAL DE PRODUTOS DE CORTIÇA, LDA.	Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)	DAP 001:2015	00000336	02/06/2015	01/06/2020

Figura 52 - DAP Habitat [41]

A título de exemplo, mostra-se um dos 68 itens que foi classificado com a definição genérica *Gray ceramic tiles, Essence model, with dimensions 60x60cm* que recorreu à base de dados mencionada e, obteve como correspondência, o produto apresentado na Figura 53.

Full name: Glazed stoneware tiles, 6 - 8,3 mm, 12,9 - 18 kg/m2, average density: 2180,30 kg/m3 (PAVIGRÉS CERÂMICAS, S.A) Copy name

Add to input

Favorite

Technical specification: 6 - 8,3 mm, 12,9 - 18 kg/m2, average density: 2180,30 kg/m3
Manufacturer: PAVIGRÉS CERÂMICAS, S.A
EPD program: DAP Habitat
EPD number: DAP 003:2019
Environment Data Source: EPD GRES VIDRADO
Standard: EN15804
Verification: Verified
Year: 2019
Country: Portugal
Upstream database: ecoinvent
Density: 2180 kg / m3
Product Category Rules (PCR): RCP: Modelo base para produtos e serviços de construção, RCP: Revestimentos de Pavimento, RCP: Revestimentos de Paredes
Notes about PCR: Only with EN 15804
Q Metadata: +/- 28.35 % variation in dataset
Global warming potential (before local compensation):

Download EPD

Figura 53 - Correspondência de um dos produtos do MTQ

Terminada a correspondência de todos os produtos, segue-se uma nova etapa (Figura 54) que consiste em definir, na plataforma *One Click LCA*, o cenário utilizado tanto no projeto como no estaleiro.

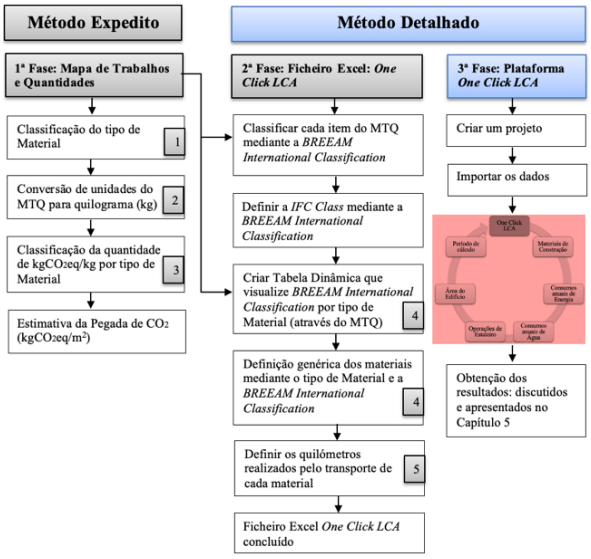


Figura 54 - Terceira etapa da 3ª Fase, Método Detalhado

Exibe-se, de forma ampliada, através da Figura 55, o esquema assinalado no fluxograma anterior, representativo das seis principais etapas a realizar na plataforma *One Click LCA*, que adiante são detalhadas.

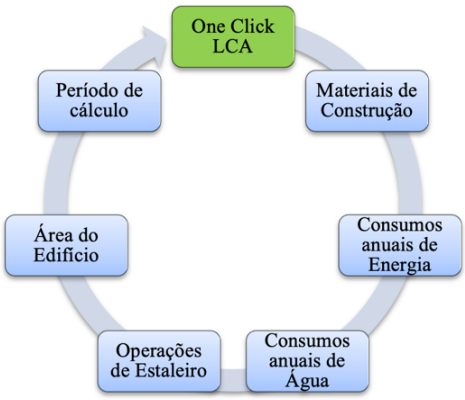


Figura 55 - Esquema das etapas da plataforma *One Click LCA*

As etapas são abordadas pela ordem que surgem no esquema e, tal como realizado anteriormente, é assinalada a vermelho, para situar o leitor, a etapa que o texto descreve. Deste modo, apresenta-se a primeira com recurso à Figura 56.

Figura 56 - Primeira etapa da plataforma *One Click LCA*

A primeira etapa apresentada, denominada pela plataforma como *Building Materials*, consiste em visualizar e rever todos os materiais utilizados com a respetiva classificação que lhe foi atribuída na tarefa anterior, *Mapping*.

Os materiais estão agrupados em seis categorias distintas:

- *Foundations and substructure* (Fundações e subestrutura)
- *Vertical structures and facade* (Estruturas verticais e fachada)
- *Horizontal structures: beams, floors and roofs* (Estruturas horizontais: vigas, pisos e coberturas)
- *Other structures and materials* (Outras estruturas e materiais)
- *External areas and site elements* (Áreas exteriores e elementos do local)
- *Building technology* (Tecnologia do edifício)

Tal como foi apresentado na Figura 47, a plataforma, mediante a *Class* que foi atribuída ao material, faz corresponder, de forma automática, a sua classificação para demonstrar os resultados finais. Com auxílio da Figura 57, é possível visualizar a primeira categoria, "Fundações e subestrutura".

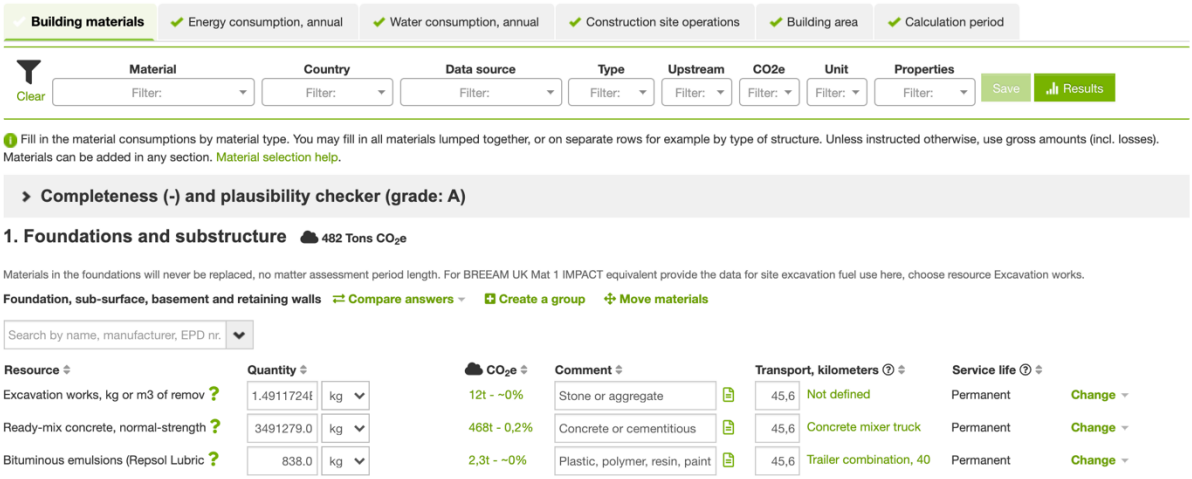


Figura 57 - *Building materials* (Materiais de Construção)

Evidencia-se ainda que, nesta etapa, são introduzidos os valores atualizados dos quilómetros necessários para o transporte dos materiais, e não o valor de 100 km utilizado inicialmente no ficheiro Excel. Relembra-se o leitor que a metodologia do cálculo é explicada no ponto 4.2.4.5 e demonstrado o valor obtido no Capítulo 5.

Segue-se a nova etapa (Figura 58).

Figura 58 - Segunda etapa da plataforma *One Click LCA*

Relativamente aos Consumos anuais de Energia do edifício, os dados a colocar na plataforma devem ser fornecidos pela equipa projetista, que se encontram fora do âmbito da Engenharia Civil, na medida em

que estão relacionados com a utilização dos equipamentos da unidade industrial e, por esse motivo, os valores são fornecidos pela especialidade de Engenharia Mecânica. Nesta categoria, expõem-se cinco etapas que são apresentadas desde a Figura 59 à Figura 63.

O primeiro ponto está relacionado com o consumo de eletricidade da rede. Seleciona-se o seu tipo (*Electricity, Portugal*), o seu consumo (1.435.000 kWh) e o seu uso (*Overall*) que, neste caso, corresponde a AVAC, AQS, fornos industriais, pinturas (necessárias para partes exteriores dos aviões que são construídos na unidade industrial caso de estudo), iluminação e equipamentos elétricos.

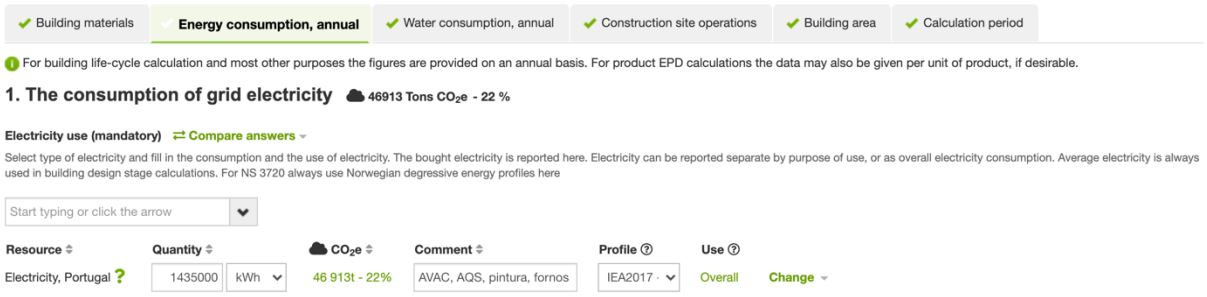


Figura 59 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), primeira etapa

Estão disponíveis 210 opções para o tipo de eletricidade e, como Portugal consta na lista, utiliza-se essa opção: *Electricity, Portugal*. A eletricidade pode ser descrita separadamente por finalidade de uso ou como consumo geral de eletricidade, que foi o utilizado no caso em questão (*Use: Overall*). Constata-se ainda que a eletricidade média é sempre usada nos cálculos da fase de projeto do edifício.

Seguidamente, como mostra a Figura 60, deve ser eleito o tipo de combustível da unidade estacionária, e o seu consumo anual. Relativamente ao valor de 200 l de gasóleo, refere-se que este provém de um gerador auxiliar. Esses consumos são para as operações de manutenção corrente anual do gerador. Para o tipo de combustível, existem na plataforma 86 possibilidades e, sendo o gerador alimentado através de gasóleo, seleciona-se a opção *Diesel*. Note-se ainda que os combustíveis utilizados para transporte não são incluídos nesta etapa.

A título explicativo, o gasóleo contém geralmente algumas impurezas e, se não se mexer o combustível, as impurezas podem-se impregnar nas tubagens do sistema de combustão e podem limitar o rendimento do gerador. Por essa razão, é realizada esta operação de manutenção, anualmente ou trimestralmente, dependendo do gerador. Como se trata de uma ACV, é importante referir que existem operações de manutenção para conservar os equipamentos, de modo a que funcionem corretamente e evitem a sua substituição, daí a relevância da descrição efetuada.

Refere-se que o combustível gás natural, também presente na análise, com um consumo de 10.038.000 kWh corresponde, para o edifício em estudo, à utilização de fornos industriais, pinturas (explicadas anteriormente) e, ainda, de aparafusadoras e rebites. Seleciona-se o uso *Facility*, por representar as instalações e os equipamentos de fábricas.

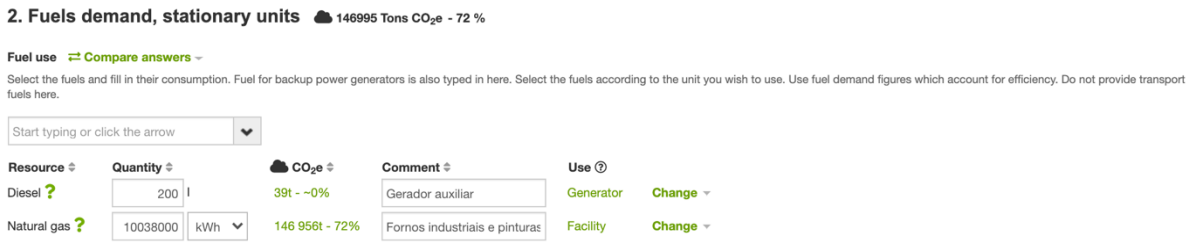


Figura 60 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), segunda etapa

Num terceiro passo, deve ser selecionado o consumo de *Disctrict Heating* (Figura 61), que consiste num sistema para aquecimento interior dos edifícios, existente em determinadas cidades europeias e gerido à escala de uma zona urbana. No edifício caso de estudo, o mesmo não é utilizado, logo a etapa não é preenchida.

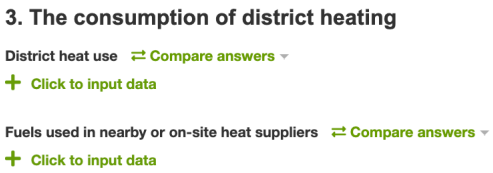


Figura 61 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), terceira etapa

Além disso, também não existem consumos de arrefecimento na unidade industrial, logo o quarto passo não exige preenchimento (Figura 62).

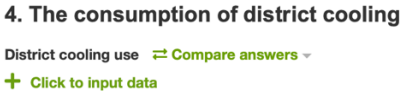


Figura 62 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), quarta etapa

Por fim, deve ser selecionado o tipo de energia exportada (Figura 63) e a sua quantidade (410.000 kWh). A energia exportada é a energia que pode ser descontada ao valor consumido no local ou consumida nas imediações. O *software* não faz a distinção entre a energia utilizada para autoconsumo e a que é efetivamente exportada. O valor apresentado corresponde à energia produzida pelos painéis fotovoltaicos para autoconsumo e, compreende ainda, a energia restante que é exportada para a rede.

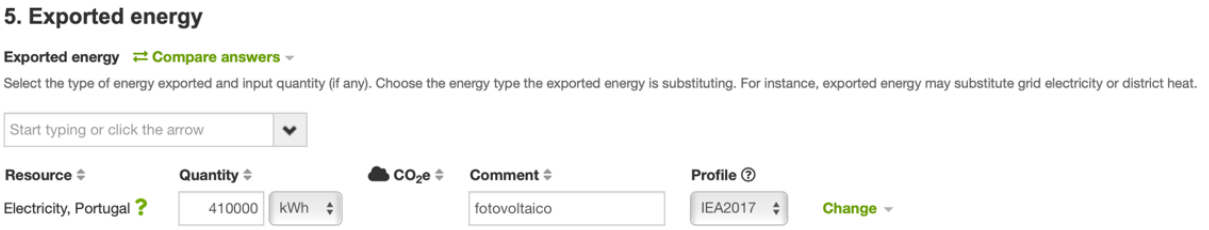


Figura 63 - *Energy consumption, anual* (Consumos anuais de Energia), quinta etapa

De referir ainda que as unidades disponíveis para introduzir os consumos na primeira, segunda e quinta etapas são kWh, MJ e MWh. Utiliza-se o kWh por ser a unidade corrente de análise e, por exemplo, de reporte de faturas da luz. Além disso, foi ainda a unidade em que os valores foram fornecidos pela equipa de projeto.

Apresenta-se a Figura 64 para relembrar a próxima etapa.

Figura 64 - Terceira etapa da plataforma *One Click LCA*

No que diz respeito aos Consumos anuais de Água, estes são igualmente fornecidos pela equipa projetista, nomeadamente pela especialidade de Hidráulica. Nesta terceira categoria existe apenas uma etapa, como se verifica através da Figura 65. Os valores apresentados são obtidos através do dimensionamento do edifício para a sua utilização corrente. O consumo de 4000 m^3 corresponde à água da torneira potável para a zona administrativa e, por outro lado, os 5000 m^3 estão associados à quantidade de água que é gasta para a rega.

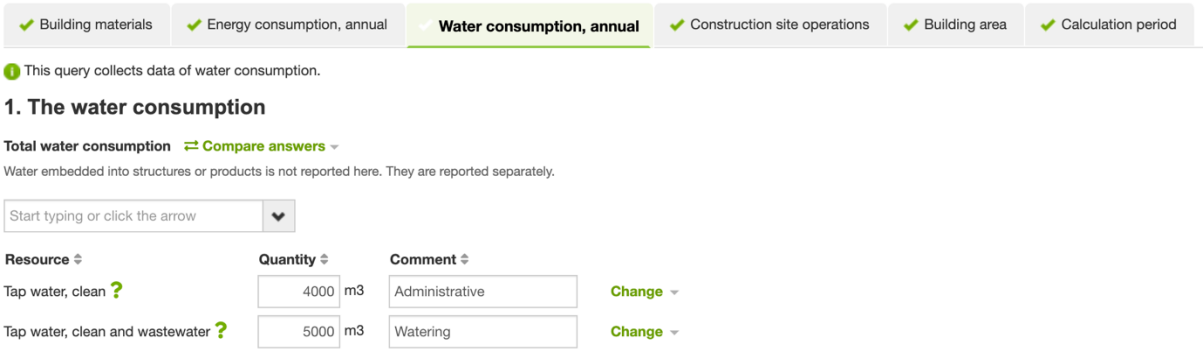


Figura 65 - *Water consumption, anual* (Consumos anuais de Água)

A Figura 66 enquadra a metodologia em exposição.

Figura 66 - Quarta etapa da plataforma *One Click LCA*

As Operações de Estaleiro representam o quarto passo apresentado no fluxograma. Esta categoria envolve cinco etapas, apresentadas desde a Figura 67 à Figura 71. Caso se pretenda utilizar os valores exatos, é necessário que se aguarde pelo final da construção. No entanto, como a presente dissertação foi desenvolvida durante o período da fase de execução da obra, utilizam-se valores reais, correspondentes ao período de Junho a Dezembro, e valores extrapolados para o período de Janeiro a Abril.

Contudo, na hipótese de desenvolver o estudo da ACV na fase de pré-dimensionamento, devem-se utilizar valores obtidos em obras de categoria e usos semelhantes, ou recorrer à primeira etapa que consiste em usar cenários de estaleiro (Figura 67). No caso de estudo não se utiliza a primeira etapa, pelo motivo explicado no parágrafo anterior.

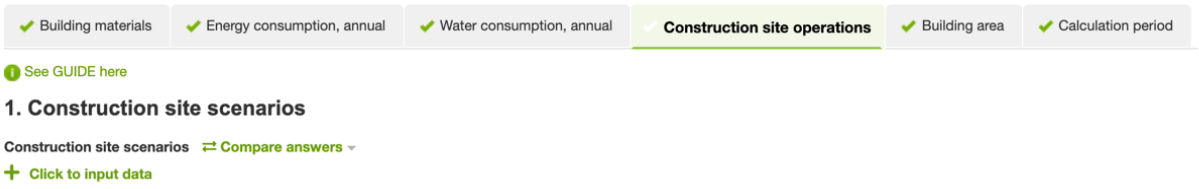


Figura 67 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), primeira etapa

No que diz respeito à Energia utilizada no estaleiro, esta é apresentada através de três consumos diferentes: consumo de eletricidade, de aquecimento interior dos edifícios e de combustível. Na obra caso de estudo não se gastou energia para aquecimento logo, essa parcela não é preenchida. Relativamente ao valor de 47.000 kWh (Figura 68), associado ao consumo de eletricidade, refere-se que este é obtido através de um cálculo que teve por base a magnitude de valores de uma obra semelhante, executada pela empresa de acolhimento. O cálculo é demonstrado no Capítulo 5, através da Tabela 38.

O consumo de 99.876 l de gasóleo (*Diesel*) está associado a todos os equipamentos afetos à obra (Figura 68). O seu cálculo é devidamente detalhado no Capítulo 5 através da Tabela 39. No entanto, refere-se ainda que este tem em consideração não só os consumos dos equipamentos da empresa executante, mas também os dos subempreiteiros.

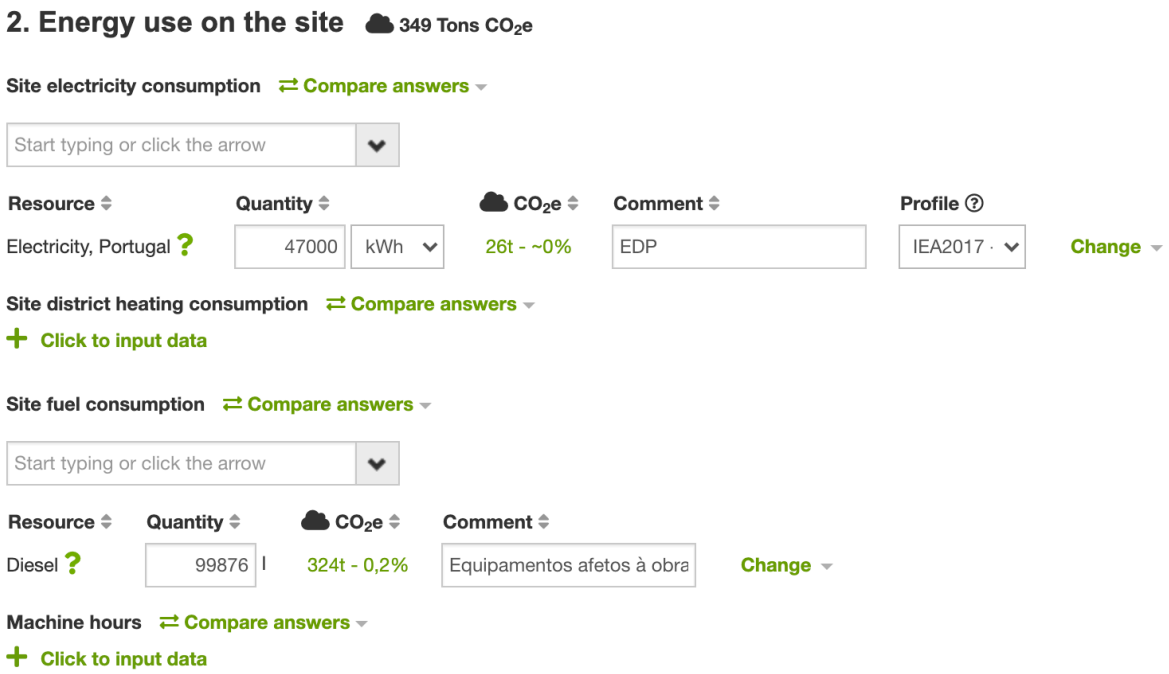


Figura 68 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), segunda etapa

A Água utilizada no estaleiro representa a terceira etapa (Figura 69) e o seu consumo (1.295,6 m^3) é obtido através do contador instalado na obra caso de estudo. Esse valor engloba a água da torneira, a água limpa e de esgotos. No capítulo seguinte é demonstrado o cálculo da extrapolação e os valores intermédios recolhidos para determinar o resultado final, nomeadamente nas Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42.

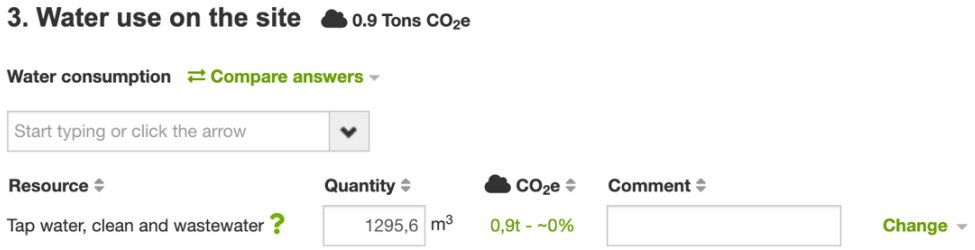


Figura 69 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), terceira etapa

Quanto aos resíduos gerados no estaleiro, os valores abaixo apresentados são obtidos através das eGAR's. Na Figura 70, enunciam-se todos os tipos de resíduos e a sua quantidade, nomeadamente os resíduos inertes, de aço, de madeira, de plástico, de papel e cartão, de blocos de betão para reciclagem, misturas de resíduos e, ainda, resíduos de isolamento. Refere-se ainda que a coluna intermédia faz referência ao código e designação da eGAR que deu origem ao tipo de resíduo selecionado na plataforma.

Como tem vindo a ser explicado, o período da dissertação termina antes do término da obra, logo os valores apresentados resultam duma extrapolação associada aos meses de Janeiro a Abril. Por esse motivo, no próximo capítulo, nomeadamente na Tabela 43, são demonstrados os cálculos que permitiram obter os valores apresentados.

É importante referir que o valor de 180.000 kg, designado como resíduos de blocos de betão, apresenta um valor diferente na coluna dos quilómetros percorridos pelo transporte, uma vez que corresponde a resíduos de betão que foram britados de uma obra vizinha da empresa executante.

4. Waste generated on the site 4 Tons CO_2e

Construction waste Compare answers

Select waste types and input amounts and transportation. Avoid double accounting if material wastage rate is reported in Building materials data input form.

Start typing or click the arrow

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		
Inert waste landfilling	6880	kg	85kg - ~0%	170904 - Misturas de resídu	45,6	Trailer combination, 40	Change
Steel waste	27240	kg	0,26t - ~0%	170405 - Ferro e aço	45,6	Trailer combination, 40	Change
Wood waste	23760	kg	0,26t - ~0%	170201 - Madeira	45,6	Trailer combination, 40	Change
Plastic waste	1210	kg	2,9t - ~0%	150102 e 170203 - Embalag	45,6	Trailer combination, 40	Change
Paper waste	320	kg	3kg - ~0%	150101 - Embalagens de pa	45,6	Trailer combination, 40	Change
Concrete block waste to recycling	180000	kg	46kg - ~0%	Britado de outra obra da em	1	Trailer combination, 40	Change
Mixed waste	240	kg	88kg - ~0%	200301 - Misturas de resídu	45,6	Trailer combination, 40	Change
Gypsum waste	1910	kg	17kg - ~0%	170604 - Materiais de isolar	45,6	Trailer combination, 40	Change

Figura 70 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), quarta etapa

Ademais, para além das eGAR's da empresa executante, é necessário ter em consideração os resíduos produzidos pelos subempreiteiros. Todavia, a grande maioria dos resíduos de construção como, por exemplo, betão armado, chapas metálicas, serralharia, tijolo, cerâmicos, gesso cartonado e madeiras estão associados à empresa de acolhimento. Por outro lado, os empreiteiros também apresentam metas globais de resíduos e a sua distribuição aproximada, o que permite, de igual modo, realizar a extrapolação, apresentada no próximo capítulo.

Não obstante, em fase de pré-dimensionamento não é possível obter os valores das eGAR's e uma alternativa, proposta pela autora, é consultar a quantidade média de resíduos da empresa executante (Tabela 16). Note-se que esse valor pode variar mediante a tipologia da obra e a sua intervenção.

Tabela 16 - Média de resíduos produzidos pela empresa de acolhimento

Tipologia	Intervenção	Média [kg/100 m^2]
Industrial	Construção	2500

Para além desse dado, é relevante ter conhecimento da distribuição do tipo de resíduos (Tabela 17).

Tabela 17 - Distribuição do tipo de resíduos da empresa executante

Código eGAR	Percentagem
150101 - Embalagens de papel e cartão	1%
150102 - Embalagens de plástico	0%
150103 - Embalagens de madeira	0%
150105 - Embalagens compósitas	1%
170101 - Betão	0%
170103 - Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	0%
170107 - Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 170106	54%
170201 - Madeira	9%
170202 - Vidro	0%
170203 - Plástico	2%
170402 - Alumínio	0%
170405 - Ferro e Aço	7%
170407 - Mistura de metais	3%
170604 - Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03	3%
170802 - Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01	2%
170904 - Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 170901, 170902 e 170903	18%
Total Geral	100%

Por via das duas tabelas apresentadas, é possível obter uma estimativa da quantidade de resíduos que irão ser produzidos numa determinada obra, mediante a sua área de intervenção. A título de exemplo, no Capítulo 5, apresenta-se a quantidade média de resíduos produzidos e a sua distribuição para a obra caso de estudo e, como resultado, a comparação com os valores médios exibidos.

A última etapa da secção de Operações de Estaleiro (Figura 71) consiste em contabilizar as viagens adicionais que foram necessárias efetuar. Chama-se a atenção que estas viagens não entram no cálculo realizado para obter a média ponderada de quilómetros no transporte dos materiais, nomeadamente os 45,6 km expressos na Figura 57 e na Figura 70.

A metodologia proposta sugere que, para as viagens adicionais, se tenha em consideração os transportes associados a: visitas e/ou reuniões, entrega de equipamentos e o valor diferencial entre a média ponderada dos quilómetros e o arbitrado inicialmente, apenas no caso de este ser superior aos 100 km considerados (o que não se verifica para o caso de estudo). Deste modo, para a finalidade "Visita e/ ou Reunião", considera-se o peso médio de uma pessoa de 70 kg e para a "Entrega de Equipamento" utiliza-se um valor aproximado de 1000 kg. No ponto 4.2.4.5 é fornecida a explicação detalhada deste processo, o qual deve ser devidamente analisado.

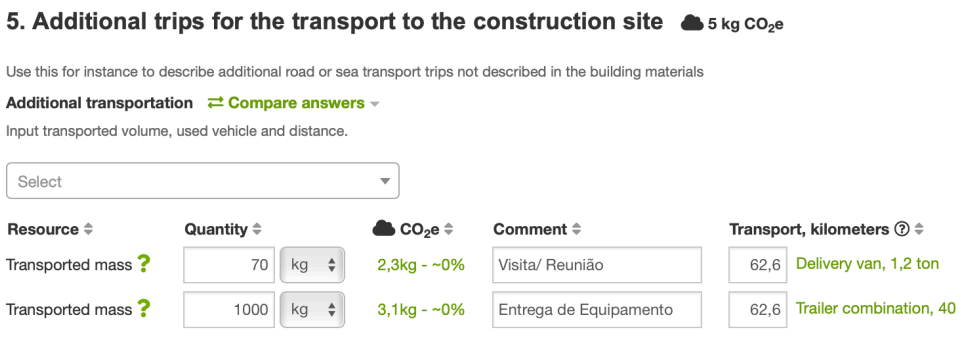


Figura 71 - *Construction site operations* (Operações de Estaleiro), quinta etapa

Refere-se a importância de realizar esta etapa pois, apesar do gasóleo das máquinas que estão em obra ser contabilizado, os transportes parciais desses equipamentos apresentam um peso global simbólico e devem ser tidos em consideração para realizar uma análise mais precisa.

A Figura 72 mostra a penúltima etapa da plataforma.

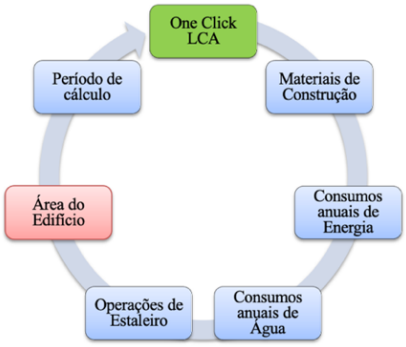


Figura 72 - Quinta etapa da plataforma *One Click LCA*

É necessário definir a área bruta de construção (Figura 73), que corresponde a 20.000 m^2. É de notar que este valor exclui estacionamentos e áreas de circulação de veículos motorizados. Na verdade, para um cálculo mais preciso, acrescentam-se ainda o número de trabalhadores (340 pessoas) e o número de dias úteis em Portugal (253 dias).

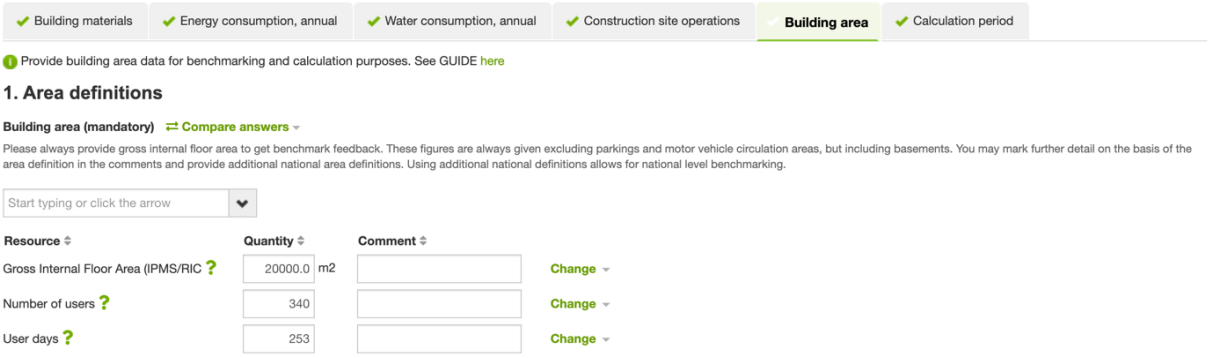


Figura 73 - *Building area* (Área do Edifício)

A Figura 74 apresenta o último passo a realizar.

Figura 74 - Sexta etapa da plataforma *One Click LCA*

A última etapa, Figura 75, consiste em definir a vida útil do edifício. O BREEAM exige que a ACV considere um período de 60 anos [42], associado a uma suposição típica para a vida de um edifício. As substituições e requisitos de manutenção do edifício são calculadas para o período definido neste passo.

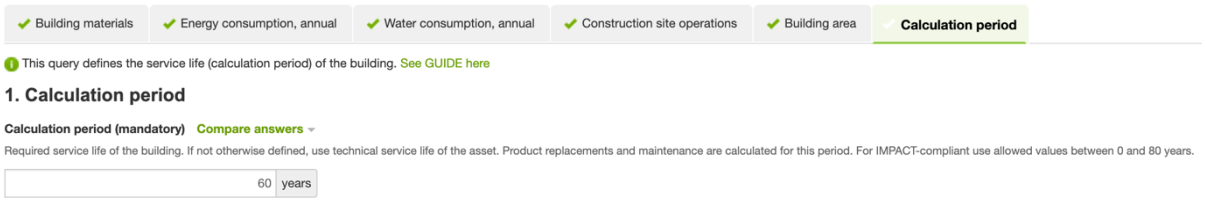


Figura 75 - *Calculation period* (Período de Cálculo)

Com a conclusão das etapas anteriores, a inserção de dados e cálculos na plataforma está terminada e é então possível obter os resultados finais da ACV. Compete informar que o valor da Pegada de Carbono obtido com recurso à plataforma *One Click LCA* é o principal resultado do estudo e o que exige uma maior discussão.

Como apresenta o fluxograma da Figura 76, os resultados são discutidos e apresentados no próximo capítulo, o quinto capítulo.

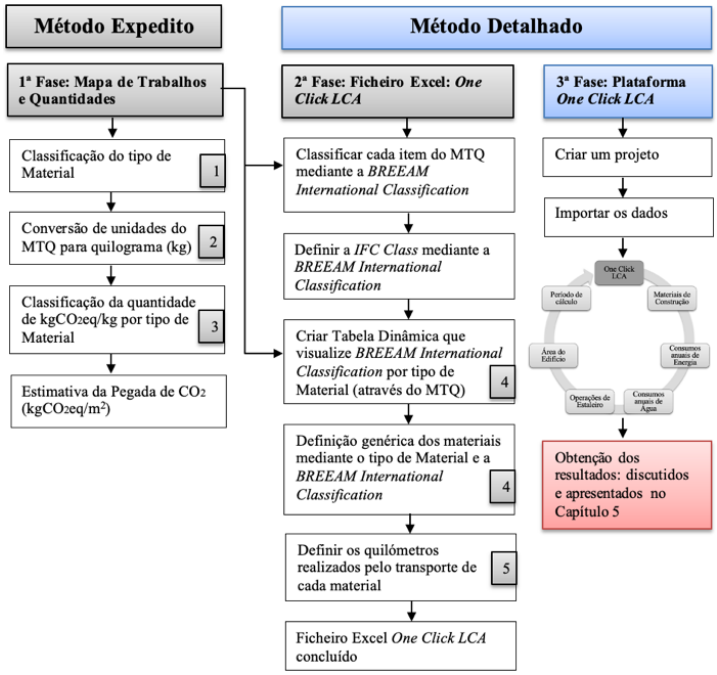


Figura 76 - Quarta etapa da 3ª Fase, Método Detalhado

4.2.4. Considerações e Propostas de Melhoria

Ao longo da exposição da metodologia, foi-se recomendando a leitura dos pontos 4.2.4.1, 4.2.4.2, 4.2.4.3, 4.2.4.4 e 4.2.4.5, por constarem neles informações cruciais para uma melhor compreensão dos assuntos dissertados, bem como propostas de melhoria e comentários. Apresenta-se uma síntese de todas as considerações efetuadas, pressupostos assumidos e propostas de melhoria que surgiram da autoria da dissertante.

4.2.4.1. Classificação do Tipo de Material

Sendo a classificação do tipo de material a primeira etapa a realizar no MTQ, exige bastante cautela uma vez que nesta fase ainda não se tem conhecimento da variedade de materiais presentes na obra caso

de estudo. Relembra-se que a Tabela 2, utilizada para realizar a classificação do tipo de material, provém do manual *BREEAM New Construction 2016*, o que motivou propor as melhorias que se apresentam nos próximos parágrafos.

A grande maioria dos produtos de construção são compostos por diversos materiais, seja em quantidades ínfimas ou mais pronunciadas, por isso decidiu-se recorrer à classificação dos dois principais materiais presentes nesse produto, com a nomenclatura "Material 1" e "Material 2". Como demonstrado anteriormente, atribui-se também uma percentagem aproximada da quantidade de cada um dos materiais, proveniente de FT's ou declarações de produto. A classificação do "Material Remanescente" apresenta, nesta etapa, importância para os casos em que a percentagem de "Material 1" e de "Material 2" é inferior a 100% e, sendo assim, a restante percentagem coloca-se nessa classificação. Atribui-se sempre a designação *Other* (Outro) à classificação referida. Realizar as duas principais classificações e as respetivas ponderações é importante para aproximar o valor final da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono a um valor real.

É ainda importante referir que, nesta etapa, deve-se classificar sempre o "Material 1" como aquele que apresenta a maior percentagem do tipo de material, ou seja, na situação de só existir um material, e a esse corresponder uma percentagem de 100%, é sempre associada ao "Material 1". Além disso, como o leitor pode verificar na Tabela 3, onde é demonstrado o primeiro exemplo retirado do MTQ, o "Material 1" corresponde a *Gypsum* (Gesso), visto que esse material tem uma percentagem maior (40%) do que o "Material 2" *Metal* (20%). Explica-se ainda que, apesar da Pegada de Carbono associada aos 40% de *Gypsum* ser inferior à Pegada de Carbono relativa aos 20% de *Metal*, não causa qualquer tipo de influência na estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono da obra, pois, como demonstrado, o cálculo tem em consideração a Pegada de todos os materiais classificados.

Sintetizando, a quantidade de "Material X" (kg) é influenciada pela percentagem que foi atribuída ao "Material X" e, consequentemente, a Pegada de "Material X" ($kgCO_2eq$) é tanto maior quanto mais elevada for a quantidade de "Material X". Sendo assim, compreende-se o cuidado que deve haver nos variados passos intermédios que a análise exige, no sentido do valor final do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono poder ser uma estimativa fidedigna.

Em conclusão, considera-se que, para uma análise aproximada da Pegada de Carbono, a utilização de dois materiais ("Material 1" e "Material 2") é suficiente. Todavia, quanto mais precisa o leitor pretender que esta seja, maior a quantidade de materiais que deve adicionar para posterior classificação. Quanto à percentagem a atribuir, o leitor deve recorrer a profissionais da especialidade, para que lhe possam fornecer valores mais precisos, no caso destes não constarem nas FT's ou nas declarações de produto.

No que diz respeito à classificação *Concrete or cementitious* (Betão ou Cimento), é relevante referir que existem várias classes de betão e, na obra em questão, utilizam-se três distintas: C25/30, C30/37 e C40/50. Uma classe mais resistente implica um maior consumo de cimento, o que, consequentemente, provoca um aumento no coeficiente de carbono ($kgCO_2eq/kg$) e, por sua vez, um valor da Pegada de Carbono maior. Por esse motivo, especificar e distinguir a classe de betão deve ser considerada uma melhoria, na medida em que irá proporcionar um valor final da análise mais exato. Concretizando, acrescentar-se-iam, na Tabela 2, as três classes de betão mencionadas, mantendo a opção *Concrete or cementitious (cases not included)* para os casos em que se aplique outro tipo de classe. No ponto 4.2.4.3 é abordada, em maior detalhe, a evolução do coeficiente de carbono mediante a classe de betão utilizada.

Relativamente à classificação *Metal*, compreende-se que existe uma enorme variedade de metais e que a tabela apresentada os considera como um todo, sem qualquer tipo de distinção. Na construção civil, recorre-se principalmente ao aço, alumínio, cobre, zinco e latão. A primeira liga metálica enunciada, o aço, trata-se de uma alternativa ao ferro, mais resistente e sofisticado, o que contribui tanto para o

aumento das suas possibilidades de utilização, como para a qualidade dos produtos que são realizados com recurso ao aço. O alumínio utiliza-se com frequência em coberturas, painéis de revestimento, fachadas, portas e janelas. Trata-se de um metal especial visto que quando se constroem estruturas de alumínio, a necessidade de energia é bastante elevada quando comparada com outros materiais. Contudo, o seu consumo de energia é reduzido quando comparado com a quantidade de energia que se pode poupar durante a vida útil da construção. Relativamente ao cobre, não só é usado essencialmente para instalações elétricas como condutor, mas também para instalações de água, esgoto, aquecimento e refrigeração. Por outro lado, utiliza-se o zinco, principalmente sob a forma de chapa, para coberturas ou revestimentos, arames, calhas, rufos, entre outros. Por fim, a utilidade da última liga metálica enunciada, o latão, identifica-se em ferragens como torneiras, tubos e fechaduras. Para além dos diferentes usos dos metais enunciados, estes também apresentam pesos volúmicos distintos e, consequentemente, os valores dos coeficientes de carbono de cada um também são variados (assunto abordado nos pontos 4.2.4.2 e 4.2.4.3, respetivamente).

Em suma, considera-se que, para obter um resultado mais próximo do exato, devem ser acrescentados na Tabela 2, os cinco principais tipos de metal mais utilizados na construção (aço, alumínio, cobre, zinco e latão), mantendo a opção *Metal (cases not included)* para os casos em que o material em questão não se enquadre nos cinco mencionados. Assim, seria possível visualizar o tipo de metal mais utilizado na obra e, analisando a sua pegada, perceber se seria uma melhor opção tentar substituí-lo por outro que proporcionasse maiores benefícios.

De uma maneira geral, a água não é vista nem tratada como um material de construção e, de facto, são inúmeros os litros de água que são consumidos no estaleiro para a produção dos materiais. No entanto, acredita-se que, no futuro, com a previsível diminuição de água devido às alterações climáticas, a pegada de água assuma uma maior preponderância.

A água é utilizada em quase todos os serviços de engenharia, por vezes como componente essencial, por outras como ferramenta. Este elemento é um dos componentes mais importantes na confeção de betão e argamassas, e imprescindível na humificação do solo e na compactação de aterros. Além disso, as pinturas e trabalhos de limpeza consomem igualmente uma avultada quantidade de água. A título de exemplo, refere-se que, para a produção de um metro cúbico de betão gasta-se, em média, cerca de 160 a 200 litros e, na compactação de um metro cúbico de aterro, podem ser consumidos até 300 litros de água.

É importante referir que este conceito de Pegada Hídrica sai fora do âmbito desta dissertação. Contudo, considera-se importante salientar a importância do controlo dos consumos de água, na medida em que, em termos ambientais, é bastante significativo. Note-se que os valores dos coeficientes de carbono já têm em consideração a quantidade de água gasta na produção de um determinado material.

Apresentam-se, através da Tabela 18, os novos tipos de material que devem ser considerados para melhorar a análise.

Tabela 18 - Classificação do tipo de material com acréscimo das sugestões de melhoria, sublinhadas a cinzento

Material	Material (Tradução para Português)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	Fibra ou pele de animal, fibra de celulose
Clay based	À base de argila
Concrete or cementitious (cases not included)	Betão ou cimento (casos não incluídos)
Concrete Class C25/30	Betão Classe C25/30
Concrete Class C30/37	Betão Classe C30/37
Concrete Class C40/50	Betão Classe C40/50
Glass	Vidro
Gypsum	Gesso
Metal (cases not included)	Metal (casos não incluídos)
Steel	Aço
Aluminum	Alumínio
Copper	Cobre
Zinc	Zinco
Brass	Latão
Other	Outro
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Plástico, polímero, resina, tinta, produtos químicos & betuminosos
Stone or aggregate	Pedra ou agregado
Timber or timber based	Madeira ou à base de madeira

4.2.4.2. Conversão de Unidades para Quilograma

Inicialmente, foram apresentados dois fluxogramas representativos desta etapa: Figura 27 e Figura 30. O primeiro mostra os vários passos a percorrer para se realizar a conversão e o segundo consiste em demonstrar quando surgem complicações na conversão das unidades do MTQ para quilograma.

Após os vários exemplos para as situações em que é possível efetuar a conversão, pretende-se agora focar nos casos em que a mesma implica determinadas considerações. Estes casos correspondem a situações em que o produto não tem FT ou a FT não permite a conversão para quilograma e não é possível recorrer à conversão através do peso volúmico.

Apresentaram-se, no fluxograma da Figura 27, duas opções para solucionar o problema. A primeira sugeria que se procurassem produtos semelhantes que contenham FT, com a devida conversão para quilograma. Na grande maioria dos itens do MTQ, é mencionada a marca preferencial a usar para um determinado produto e, por esse motivo, esta primeira hipótese passa por realizar pesquisas noutras marcas que apresentem um produto idêntico e selecioná-lo para obter a conversão. Os erros que se obtêm não são significativos se a pesquisa e seleção forem criteriosas.

Relativamente à segunda opção, deve ser vista como a última alternativa, ou seja, utilizada depois de ter tido insucesso na primeira. Esta hipótese pode induzir erros mais pronunciados, na medida em que é um valor arbitrado, baseado no exercício da atividade profissional. Naturalmente que, com a acumulação de experiência, o conhecimento dos produtos torna-se cada vez mais aprofundado, todavia atribuir um valor mediante memórias anteriores torna-se sempre menos correto do que utilizar algum valor que esteja documentado.

Considera-se importante referir que, caso se recorra à nova classificação do tipo de material, sugerida na Tabela 18, devem ser efetuadas alterações na Tabela 6, apresentada anteriormente, relativa ao peso volúmico utilizado. Na verdade, seria então necessário avaliar o peso volúmico das três classes de betão e dos cinco tipos de metal referidos, tal como sugere a Tabela 19.

Tabela 19 - Peso volúmico por tipo de Material, com acréscimo das sugestões de melhoria, sublinhadas a cinzento [37]

Material	Peso Volúmico (kg/m^3)
Concrete or cementitious	2650
Concrete Class C25/30	2450
Concrete Class C30/37	2600
Concrete Class C40/50	2750
Glass	2500
Metal	7850
Steel	7800
Aluminum	2600
Copper	8900
Zinc	7200
Brass	8500
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	900
Stone or aggregate	1600
Timber or timber based	600

4.2.4.3. Atribuição dos Coeficientes de Carbono (kgCO_2eq/kg)

Para realizar o cálculo da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono é necessário atribuir, a cada material, um coeficiente de carbono expresso em kgCO_2eq/kg. Foi apresentado anteriormente, através da Tabela 2, que a classificação do tipo de material consiste em dividi-los em dez tipos de materiais. Dessa forma, é intuitivo que também se utilizem dez coeficientes de carbono associados à classificação do tipo de material.

Para obter o resultado da estimativa referida, optou-se por recorrer a valores intermédios e ponderados dos coeficientes de carbono, os expostos na Tabela 8. Os valores utilizados são retirados da base de dados ICE, que foi desenvolvida para fornecer dados confiáveis e de livre acesso para a energia incorporada e carbono associado a materiais de construção. A estrutura do ICE apoiou-se nos valores de energia e carbono incorporados de publicações de análises de energia e estudos de ACV. [39]

Considera-se relevante explicar os motivos que conduziram à seleção exposta na Tabela 8. Sendo assim, apresentam-se as considerações efetuadas na seleção dos coeficientes de carbono para cada tipo de material, cujo valor é expresso em kgCO_2eq/kg. No Anexo 1 estão disponíveis todos os valores que a base de dados contém.

- ***Animal fiber or skin, cellulose fiber***: Para esta classificação utiliza-se a secção *Carpet* e como a mesma contém bastantes valores, recorre-se à designação *General Carpet* (carpete genérica) com o valor de 3,9.

- ***Clay based***: Analisando o MTQ conclui-se que, para esta classificação, a grande maioria dos materiais estão associados a revestimentos com cerâmicos, nomeadamente a azulejos. Sendo assim, utiliza-se o valor 0,78 da secção *Ceramics* que corresponde a *Tiles and Cladding Panels* (painéis de azulejos e revestimentos).
- ***Concrete or cementitious***: Dentro da secção *Concrete*, existe uma grande diversidade de valores. A dúvida surge entre duas secções que são igualmente corretas, dada a quantidade de betão consumido por ambas. Elege-se a secção *Reinforced Concrete* por conter apenas um único valor, e esse corresponder a um intermédio dos valores apresentados na secção *Precast Concrete*. Deste modo, o valor 0,198 corresponde a *Reinforced Concrete C25/30*.
- ***Glass***: Para a obra caso de estudo utiliza-se um vidro muito resistente (janela tripla), pois a unidade industrial pretende obter uma certificação energética bastante alta. Consequentemente, na secção *Glass* utiliza-se o maior valor que a base de dados contém, 1,35, e este está associado a *Toughened* (vidro endurecido).
- ***Gypsum***: Recorrendo à secção *Plaster*, esta apenas apresenta um valor para placas de gesso cartonado (*Plasterboard*), 0,39, logo esse é o escolhido.
- ***Metal***: No início do presente subcapítulo, refere-se que a classificação *Metal* foi utilizada para todas as ligas metálicas e, sendo assim, não houve separação do tipo de metal. Verifica-se que o aço é a liga metálica que assume maior peso no MTQ, ou seja, considera-se a secção *Steel*. Dentro desta existem duas opções: ou recorrer a valores do Reino Unido (e valores europeus médios), ou a valores médios mundiais. Tendo em conta que o teor de reciclagem nacional é inferior ao da grande maioria dos países europeus, considera-se conservador utilizar um tipo de aço com um teor menos reciclado. Conclui-se que se deve optar por utilizar a subsecção *Other Steel Data - World average*, que apresenta 39% de reciclabilidade. O coeficiente selecionado corresponde a 2,03 e é utilizado para três categorias: para o valor genérico (*General*), para as secções de aço (*Section*) e para o aço galvanizado (*Coil, Galvanised*).
- ***Other***: Na base de dados não é feita nenhuma sugestão do valor a colocar nos casos em que o tipo de material não esteja especificado. Não obstante, como a classificação *Other* é uma das opções utilizadas, opta-se por arbitrar um valor de modo a que todas as opções apresentem um determinado coeficiente de carbono. Como se pretende prejudicar os elementos que não apresentem composição, com o objetivo de sensibilizar a especificação do tipo de material, decide-se utilizar um valor relativamente elevado. O coeficiente selecionado tem o valor 7 por corresponder a um valor intermédio, de entre os valores mais elevados da plataforma.
- ***Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous***: Verifica-se no MTQ que, para esta classificação, os materiais que representam uma maior quantidade de peso dizem respeito ao isolamento. Sendo assim, na secção *Insulation* escolhe-se a opção *General Insulation* (isolamento genérico) que tem um coeficiente de carbono de 1,86.
- ***Stone or aggregate***: A secção *Aggregate* apresenta um único valor, nomeadamente 0,0052 e, por essa razão, utiliza-se o referido para a análise. A definição desse coeficiente corresponde a *General aggregate (gravel or crushed rock)* (cascalho ou brita).
- ***Timber or timber based***: Como a madeira apresenta uma grande variabilidade de dados, os valores fornecidos na base de dados excluem o conteúdo de energia do produto de madeira, ou seja, o valor calorífico da queima. Deste modo, na secção *Timber* opta-se pelo valor intermédio, 0,31, associado a *General*.

Tal como foi mencionado anteriormente, a sugestão de abranger uma maior variedade de materiais, nomeadamente, as três classes de betão principais e os cinco tipos de metal mais utilizados, implicaria que houvesse a classificação dos coeficientes de carbono para esses materiais, o que conduziria a uma

estimativa mais próxima do valor real. Por esse motivo, uma melhoria consiste em detalhar o quanto possível os coeficientes de carbono.

É ainda importante salientar que os valores dos impactes fornecidos em bases de dados internacionais são valores genéricos, que se podem utilizar em termos relativos caso se use a mesma fonte para todos os materiais. No entanto, em termos absolutos, pode acontecer que, devido a um determinado processo de fabrico, ou a algumas matérias-primas, ou ainda a outros diferentes processos ligados ao ciclo de vida dos materiais, pode o impacte ser diferente em Portugal. Para além disso, se os materiais vierem de fora do país, o transporte terá um peso mais significativo.

A título de exemplo, retiram-se da plataforma *One Click LCA*, os valores propostos para o coeficiente de carbono mediante classe de betão e a sua percentagem de agregado reciclado (Tabela 20). O objetivo é mostrar ao leitor que, entre o valor máximo e mínimo apresentados, existe uma diferença de 0,1193 $kgCO_2eq/kg$. Constata-se por isso que, numa obra com cerca de 18.000.000 kg de betão, essa diferença equivale a, aproximadamente, 2.150.000 $kgCO_2eq$. Para uma área de 20.000 m^2, corresponde a uma diferença, na Pegada de Carbono, de 107,5 $kgCO_2eq/m^2$, o que é um valor bastante considerável.

Tabela 20 - Coeficientes de Carbono mediante as classes de betão e a percentagem de agregado reciclado

Classe de Betão	Agregado reciclado [%]	Emissões A1-A3 ($kgCO_2eq/kg$)	Agregado reciclado [%]	Emissões A1–A3 ($kgCO_2eq/kg$)
Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30, with CEM I, (280 kg/m³)	0%	0,1100	60%	0,0607
Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, in cement (300 kg/m³)	0%	0,1200	40%	0,0837
Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C30/37, in cement (300 kg/m³), incl. reinforcement	0%	0,1400	40%	0,1000
Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C40/50, in cement (400 kg/m³), incl. reinforcement	0%	0,1800	40%	0,1300

Na globalidade da obra, não se utilizaria sempre o valor mais elevado, nem sempre o valor mais reduzido. Todavia, mesmo que se considerasse um diferencial de 50 $kgCO_2eq/m^2$, só associados ao betão, compreende-se que provocaria um grande impacte na análise final do resultado da Pegada de Carbono.

Em suma, pretende-se, com o exemplo, evidenciar a importância de, ao realizar o cálculo da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono, ser seletivo e crítico na escolha dos coeficientes, de modo a obter um valor final fidedigno. Note-se que, como se utiliza o *software* para o cálculo detalhado da Pegada de Carbono, este tem em consideração os diferentes coeficientes de carbono mediante o material específico selecionado.

4.2.4.4. Tabela dinâmica e Definição genérica do material

O ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA* exige que haja uma descrição sucinta de cada material para posteriormente realizar uma correspondência entre esse e os disponíveis na plataforma. Para facilitar o processo cria-se uma tabela dinâmica relativa a todo o MTQ, que visualiza para cada categoria da classificação BREEAM, o Peso (kg) por tipo de material ("Material 1"). Seguidamente, procede-se à descrição desses produtos no ficheiro Excel mencionado. Tal como referido anteriormente, o "Material 1" é o tipo de material que apresenta sempre a maior percentagem associada, logo esta simplificação é conservadora e ainda necessária para que, de forma eficaz e pedagógica, se consiga utilizar o *software One Click LCA*.

Para uma análise em fase de pré-dimensionamento, recorrer apenas ao "Material 1", no uso da tabela dinâmica, permite obter um estudo bastante consistente como se verá no ponto 5.3. No entanto, se se pretender diminuir a incerteza associada, recorrer também ao "Material 2" aumenta o número de produtos a definir e, consequentemente, aumenta a precisão da análise.

Relativamente à definição que é necessária atribuir a cada material, a plataforma apenas permite que sejam submetidas 400 definições, como é possível verificar na parte superior da Figura 49. Sendo assim, esse seria o modo mais exato e, em vez de se recorrer a uma tabela dinâmica, consiste em percorrer todos os itens do MTQ, definindo-os, agrupando os idênticos e somando os respetivos pesos associados. Tratando-se esta dissertação de um projeto académico, considera-se mais eficaz e produtivo recorrer ao auxílio da tabela dinâmica e utilizar-se apenas o "Material 1" para realizar a definição genérica do produto.

Considera-se pertinente referir algumas considerações que foram feitas para proceder à definição do produto em questão. Utiliza-se como exemplo a classificação *Electrical Installations* com o "Material 1" *Metal*, que apresenta um peso de 82.008 kg, como se pode constatar na Tabela 13. O primeiro passo consiste em consultar o MTQ e filtrar a *BREEAM International Classification* e o "Material 1" com as classificações que estão a ser utilizadas, como evidencia a Figura 77.

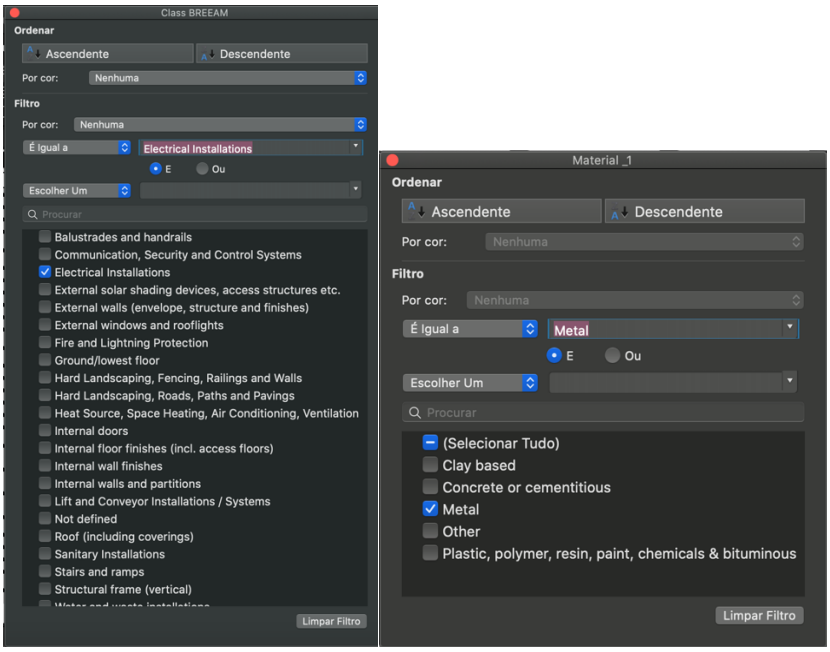


Figura 77 - Filtro, a colocar no MTQ, para realizar o exemplo em questão

Seguidamente, são expostos no MTQ todos os produtos classificados como instalações elétricas e cujo "Material 1" é *Metal*. Acontece que são inúmeros os produtos diferentes que constam no MTQ, como por exemplo: Patchcord S/FTP RJ45 Blindados Cat 6A 1M Cinza; Adaptadores Monomodo LC duplex; Bastidor 19" 15U (600 mm Larg. x 600 mm Prof.); Módulo de 4E/4S; LiYCY 4x1; XV-1G240, entre outros, que no total perfazem 360 produtos. Como apenas se pretende realizar uma definição que, de certo modo, abranja todos os produtos, torna-se necessário ponderar e perceber qual é que apresenta uma maior quantidade. Sendo assim, o foco passa para a coluna do Peso (kg), onde se deve analisar os materiais cujo peso é mais significativo e, de entre esses, o que no total apresenta a maior quantidade (kg). Verifica-se que os cabos elétricos são o produto mais acentuado para essa ponderação, o que levou a definir *Electrical cable* no ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA*. O método enunciado é aplicado aos 68 produtos a definir.

Naturalmente que ficam por definir bastantes produtos do MTQ e, como acima explicado, a solução passaria por classificar os 400 permitidos pela plataforma, que consumiria recursos que a nível académico se torna inviável. No entanto, reforça-se que a estimativa obtida se encontra muito próxima da real pois todo o Peso (kg) dos materiais é utilizado, o principal material que constitui o produto é identificado ("Material 1") e, por fim, o tipo de solução (classificação BREEAM) em que o produto se enquadra é também tido em consideração.

Em conclusão, torna-se importante realçar que o BREEAM atribui diferentes qualidades à ACV realizada. No presente caso, como é descrita mais de 80% da massa de forma detalhada, obter-se-ia a classificação excelente, como é possível comprovar através da Tabela 21.

Tabela 21 - Percentagem de pontos alcançados e créditos conseguidos, através do BREEAM Mat 01 [1]

Percentage of BREEAM Mat 01 calculator points achieved (%)	Credits	
	Industrial	All other buildings
25.0	1	1
62.5	1	2
75.0	1	3
80.0	2	4
82.5	2	5
85.0	2 + Exemplary	5 + Exemplary

4.2.4.5. Transporte

Para realizar o ficheiro Excel a submeter no *software One Click LCA* (Tabela 15) é necessário indicar os quilómetros realizados pelo transporte de cada material. No caso de realizar a análise em fase de pré-dimensionamento, o valor é desconhecido e deve ser colocado um valor obtido com base na experiência de outras obras da empresa executante.

É importante referir que o procedimento mais correto é considerar distâncias médias diferentes para cada tipo de material, uma vez que os seus fornecedores são diferentes. Todavia, se a empresa em questão não possuir esses valores, a solução passa por utilizar uma distância média para todos os materiais.

Apesar de, no caso de estudo da dissertação, se estar perante a fase de execução, opta-se por preencher o ficheiro Excel com valores de obras anteriores, pois desse modo pode-se avançar com a análise. Além disso, como se tinha conhecimento que esse valor seria posteriormente alterado na plataforma para um mais exato, mais precisamente na etapa *Building Materials* apresentada pela Figura 57, não haveria qualquer tipo de implicações em arbitrar, numa primeira fase, um valor menos preciso.

Assim, foi indicado à autora, que a distância média correspondia a 91 km, distância essa que foi calculada numa obra da empresa executante, localizada na vizinhança da do caso de estudo e cujos produtos utilizados são muito similares, ou seja, não é expectável que esse valor se altere significativamente. Pode-se concluir que recorrer ao valor de 100 km é conservador.

Para se alterar esse valor para um mais preciso, solicita-se à portaria da obra que preencha um formulário sempre que se verifique a chegada de algum transporte. O formulário, preenchido desde o início da obra caso de estudo, contém a data, o nome da empresa, o tipo de veículo e a finalidade do transporte com as seguintes opções: Água, Betão, Entrega de Equipamento, Entrega de Material, Terra Vegetal, Visita/ Reunião.

Existem duas etapas que abordam a distância percorrida pelos transportes: numa primeira fase, na parte *Building Materials* (Figura 57) e outra nas "Operações de Estaleiro", na etapa das viagens adicionais (*Additional trips for the transport to the construction site*, Figura 71). Por esse motivo, realizam-se dois cálculos distintos, o que tem em consideração as finalidades associadas a materiais (Água, Betão, Entrega de Material e Terra Vegetal) e o que tem em conta as restantes (Entrega de Equipamento e Visita/ Reunião), respetivamente.

Através do preenchimento dos vários formulários, é possível organizar a informação de modo a criar dois ficheiros: um para as finalidades associadas a materiais e outro para equipamentos e visitas/reuniões. Cada ficheiro contém o nome da empresa e a sua morada, a morada da obra caso de estudo e a distância percorrida (entre as duas moradas). Seguidamente, realiza-se uma média ponderada da distância total percorrida. Essa média tem em consideração o número de vezes que uma determinada empresa se deslocou até à obra. Daí resultam duas distâncias médias (km), quer associadas aos materiais (*Building Materials*), quer associadas às viagens adicionais (*Additional trips*).

Em suma, proceder a esta separação no cálculo dos quilómetros realizados pelos transportes permite distinguir o valor associado aos materiais essenciais para a execução da obra e o valor percorrido para entregas de equipamentos ou reuniões de obra, que naturalmente não devem ser contabilizados na etapa *Building Materials*. Deste modo, realiza-se uma análise mais precisa que, consequentemente, permite obter um valor mais fidedigno.

É importante referir que determinados transportes nem sempre provêm da sede da empresa, morada utilizada no cálculo mencionado, o que provoca ligeiras incertezas no valor final obtido. Contudo, dadas as inúmeras chegadas de transportes a uma obra, é inviável que a portaria consiga questionar a cada fornecedor a morada exata de onde se deslocou. Adicionalmente, é efetuada uma extrapolação para se conseguir obter os valores de Janeiro a Abril. Neste sentido, como o Capítulo 5 se destina à demonstração dos resultados, expõem-se no mesmo os valores finais obtidos para a obra caso de estudo e ainda se explica a diferença entre os 100 km considerados e o resultado final de 45,6 km.

Em conclusão, uma boa alternativa para otimizar este processo consiste em acrescentar uma coluna no MTQ, onde sejam indicados os fornecedores de cada produto de construção a utilizar na obra. Assim, quando se realizar a análise, apenas é necessário pesquisar as moradas das empresas e, com auxílio de duas fórmulas de Excel ("Índice" e "Corresponde"), obtém-se o valor exato de quilómetros percorridos que estaria também discriminado por tipo de material.

4.3. SÍNTESE

Após a exposição de toda a proposta de metodologia para ACV na construção, é importante sintetizar os principais conceitos a reter. Como foi explicado ao longo do capítulo, a ACV deve ser realizada em fase de pré-dimensionamento, no entanto, para a obra caso de estudo é efetuada em fase de execução.

São efetuados dois cálculos para obter o valor da Pegada de Carbono, o inicial através do MTQ e da classificação dos coeficientes de carbono ($kgCO_2eq/kg$), que permite obter uma estimativa (Método Expedito) e, o outro mais complexo e detalhado, através da utilização da plataforma *One Click LCA* (Método Detalhado). Na verdade, se o leitor apenas pretender realizar a análise por via da plataforma, as duas últimas etapas da primeira fase não são necessárias, relembrando: "Classificação da quantidade de $kgCO_2eq/kg$ por tipo de Material" e "Estimativa da Pegada de CO_2 ($kgCO_2eq/m^2$)".

Os dois cálculos efetuados têm como objetivo avaliar, no Capítulo 5, a dispersão dos valores obtidos e ainda fornecer uma alternativa, sem custos associados, para poder realizar a ACV. Reforça-se que, ao longo de todo o processo, é necessário assumir determinadas considerações, dada a insuficiência de meios ou dados para avançar com o estudo. Por outro lado, todos os valores reais que são passíveis de ser utilizados, são extrapolados para o período de Janeiro a Abril, a data prevista para o término da obra.

No Método Expedito (1ª Fase da metodologia proposta), classificam-se todos os materiais do MTQ, através das opções fornecidas pelo Manual BREEAM e sugere-se, posteriormente, uma melhoria através da utilização de mais materiais. Prossegue-se convertendo as unidades do MTQ para quilograma, surgindo algumas dificuldades quando o produto não possui a informação relativa ao peso na FT ou, nos reduzidos casos, quando a mesma não existe. São ainda explicadas formas de solucionar este problema. Seguidamente, atribui-se a cada tipo de material um coeficiente de carbono que incentiva, de igual modo, a expor melhorias para se obter um resultado mais próximo do real. Por fim, calcula-se a Pegada de Carbono para cada item do MTQ e, através do somatório de todas as parcelas e dividindo pela área bruta de construção, obtém-se a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono por metro quadrado.

O Método Detalhado compreende a segunda e a terceira fases da metodologia proposta. A segunda fase consiste em completar o ficheiro Excel fornecido pela plataforma, para posteriormente o poder submeter e realizar a análise. Para tal, é necessário classificar cada item do MTQ mediante a *BREEAM International Classification*. De seguida, realiza-se uma correspondência entre essa classificação e a exigida pela plataforma, designada como *IFC Class*. A autora toma ainda iniciativa de, através do Excel do MTQ, criar uma tabela dinâmica que visualiza o tipo de material conforme a sua classificação BREEAM e o peso total dos itens associados. Através da tabela dinâmica define-se, de forma genérica, cada um desses 68 itens que constam na mesma. Por fim, é necessário definir os quilómetros realizados pelo transporte de cada material identificado. Estes assuntos exigiram, posteriormente, discussão crítica e uma explicação detalhada.

A terceira fase compreende a utilização da plataforma *One Click LCA* e, como mencionado, a importação do ficheiro Excel desenvolvido na segunda fase. Uma das tarefas mais cruciais consiste em corresponder a cada item importado, um material que possua DAP ou valor médio regional calculado, que conste nas opções da plataforma. Este passo motiva a explicação das bases de dados utilizadas pelo *One Click LCA* e os critérios a recorrer na dificuldade de efetuar a correspondência. De seguida, surgem seis etapas que exigem dados fornecidos pela equipa projetista, como os consumos do edifício (energéticos e hidráulicos) e, além disso, dados das operações de estaleiro. Todos esses processos são detalhadamente explicados e a demonstração dos cálculos intermédios é apresentada no Capítulo 5. Em suma, o término da terceira fase permite obter o valor da Pegada de Carbono do edifício e, entre outros, resultados fornecidos pelo *software*, apresentados no próximo capítulo.

5
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

5.1. INTRODUÇÃO

Conforme é mencionado no primeiro capítulo, o objetivo principal desta dissertação consiste em desenvolver um estudo de ACV de um edifício industrial na perspetiva da certificação BREEAM. Sendo assim, o presente capítulo é justamente a aplicação prática dos objetivos anteriormente expostos, com recurso à metodologia desenvolvida de forma original no Capítulo 4.

Chama-se particularmente a atenção do leitor para a síntese apresentada no ponto 4.3, por conter sumariamente as partes mais relevantes da metodologia. O trabalho proposto é desenvolvido através de três fases principais, que implicam o tratamento dos dados do MTQ, o preenchimento de um ficheiro Excel necessário a submeter na plataforma e a utilização do *software One Click LCA*, respetivamente. A realização da primeira fase permite obter como resultado o valor da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono, através do que se designa Método Expedito, cuja originalidade é da autora. Por outro lado, a segunda e terceira fases, ambas com etapas de total autoria da dissertante, são obrigatórias para a obtenção da certificação BREEAM e fornecem igualmente o valor da Pegada de Carbono da obra em questão. Estas duas etapas compreendem o Método Detalhado.

Relembra-se o leitor que o terceiro capítulo da dissertação aborda em detalhe as características da obra caso de estudo. Todavia, considera-se relevante mencionar, neste parágrafo, que se trata de um edifício industrial, com uma área bruta de construção de 20.000 m^2. A obra teve início em Junho de 2020 e o seu término previsto é Abril de 2021. Sendo assim, a metodologia é aplicada durante a fase de execução da obra, no período de permanência da autora, mais precisamente, de Outubro a Dezembro de 2020.

No entanto, para além da aplicação direta da metodologia a um caso prático, levantou-se a questão de realizar uma análise de sensibilidade. O facto do Método Expedito ser baseado em coeficientes de carbono, cujo cálculo não é do âmbito da dissertação, motivou proceder-se a uma análise de variabilidade da Pegada de Carbono mediante a combinação de coeficientes, para valores mínimos e máximos sempre que é necessário optar num intervalo de valores. Para completar a análise de sensibilidade, o mesmo procedimento é aplicado ao Método Detalhado que recorre à plataforma *One Click LCA*, com o objetivo de finalizar a dissertação avaliando a dispersão dos resultados dos dois métodos, introduzida pela variabilidade na escolha dos materiais e, por fim, compará-los de forma crítica.

5.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Este subcapítulo, à luz do que é realizado no Capítulo 4, divide as três fases da metodologia através dos pontos 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, respetivamente, demonstrando os resultados obtidos em cada uma. Além disso, são referenciados os fluxogramas que, no capítulo anterior, sinalizavam a vermelho a etapa que estava a ser alvo de discussão, para o devido enquadramento no processo.

5.2.1. MÉTODO EXPEDITO: PRIMEIRA FASE - ANÁLISE E PREPARAÇÃO DOS DADOS DO MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES

Aborda-se neste ponto a aplicação da metodologia proposta à primeira fase do processo e, através de figuras, tabelas e gráficos, demonstram-se os principais resultados obtidos na análise e preparação dos dados do MTQ. Naturalmente que o detalhe do processo não será novamente descrito, no entanto, a indicação do fluxograma permite ao leitor situar-se e rever determinados pontos, do Capítulo 4, que considerar relevantes para uma melhor compreensão.

A primeira etapa consiste em classificar cada item do MTQ mediante o tipo de "Material 1", "Material 2" e "Material Remanescente". Recorde-se o fluxograma da Figura 25.

Apresentam-se as tabelas, criadas a partir do Excel relativo a todo o MTQ, onde é possível visualizar a quantidade de material, em quilograma, mediante a classificação que lhe foi atribuída.

Relativamente ao "Material 1" (Tabela 22), verifica-se que se recorreram a todas as possibilidades disponíveis na Tabela 2, o que seria expectável visto que é o primeiro material ao qual se atribui a classificação.

Tabela 22 - Tipo de "Material 1" e a quantidade associada a cada classificação

Material 1	Quantidade de Material 1 (kg)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	1771
Clay based	4287
Concrete or cementitious	17894693
Glass	53
Gypsum	105871
Metal	1191203
Other	3
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	1902675
Stone or aggregate	19193097
Timber or timber based	4202
(em branco)	0
Total Geral	**40297855**

Através da Figura 78, é possível identificar, de forma decrescente, quais os tipos de materiais que mais influenciam o caso de estudo. Tanto os agregados (*Stone or aggregate*) como o betão (*Concrete or cementitious*) apresentam percentagens muito próximas, representando 92,04% da quantidade total de massa (kg) do "Material 1". Seguidamente, o plástico (*Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous*) e o metal (*Metal*) destacam-se como sendo os dois que ainda apresentam uma percentagem relevante na análise. Por fim, os outros tipos de materiais assumem valores residuais comparativamente com os mencionados, cerca de 0,28%.

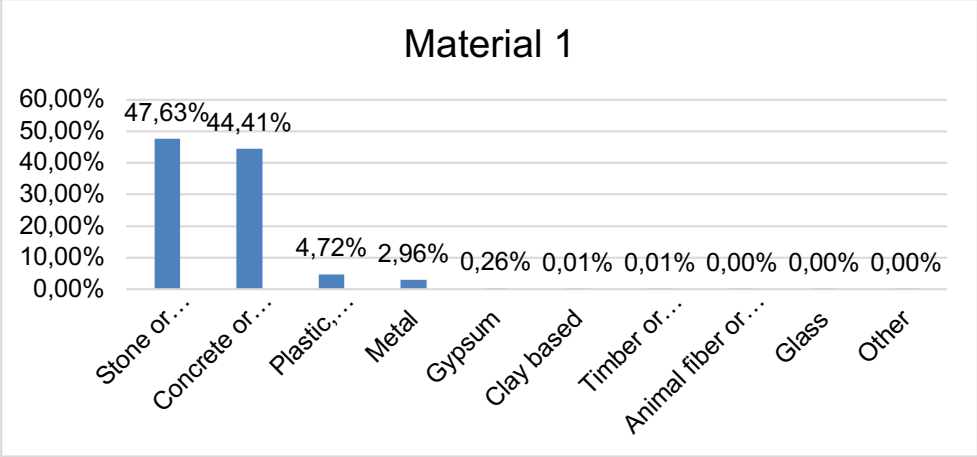


Figura 78 - Gráfico da quantidade de "Material 1", por tipo de material, de forma decrescente

O segundo material a ser classificado é o "Material 2" (Tabela 23) e apresentam-se as opções utilizadas e as quantidades associadas a cada classificação.

Tabela 23 - Tipo de "Material 2" e a quantidade associada a cada classificação

Material 2	Quantidade de Material 2 (kg)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	86
Clay based	2340
Metal	55838
Other	11661
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	16234
Total Geral	**86158**

Compreende-se, através da Figura 79, que, dos cinco tipos de materiais identificados, o metal (*Metal*) é o que apresenta uma maior quantidade, seguindo-se o plástico (*Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous*) que, comparativamente com este, já obtém uma percentagem bastante mais reduzida. Os restantes não assumem destaque, dada a sua percentagem associada, perfazendo no total 16,35%.

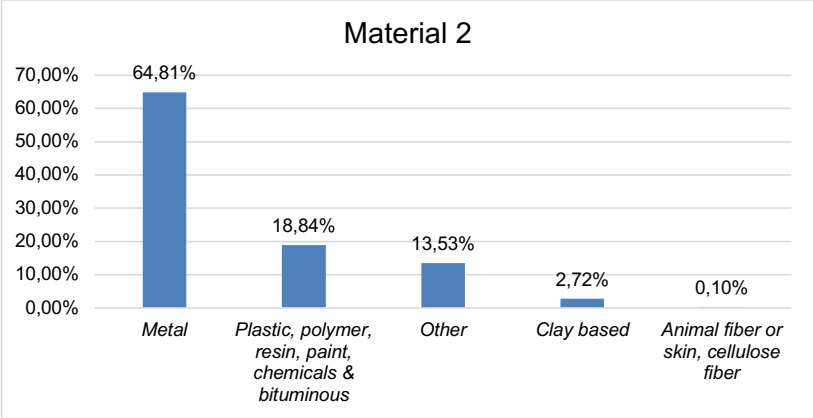


Figura 79 - Gráfico da quantidade de "Material 2", por tipo de material, de forma decrescente

No Capítulo 4 explicou-se que se atribuía sempre a classificação *Other* (Outro) ao "Material Remanescente" (Tabela 24). Na verdade, este era apenas relevante para os casos em que a percentagem de "Material 1" e "Material 2" era inferior a 100%, ou seja, o valor de 107.797 kg corresponde justamente a essas situações.

Tabela 24 - Tipo de "Material Remanescente" e a quantidade associada a cada classificação

Material Remanescente	Quantidade de Material Remanescente (kg)
Other	107797
Total Geral	**107797**

Em conclusão, o peso total de materiais na obra caso de estudo corresponde a 40.480.052 kg que se obtém somando as quantidades dos três materiais identificados (Tabela 25). Como seria previsto, o "Material 1" assume praticamente a percentagem total.

Tabela 25 - Quantidade dos três Tipos de Material

Unidade	Quantidade "Material 1"	Quantidade "Material 2"	Quantidade "Material Remanescente"	Soma de Peso
kg	40297855	86158	107797	40480052
%	99,550%	0,213%	0,266%	100%

Chama-se a atenção do leitor para a Tabela 27 à Tabela 30 e para a Tabela 35 à Tabela 37, as quais apresentam sempre o valor global do peso da obra, 40.480.052 kg.

Durante a exposição da metodologia proposta, menciona-se que é necessário atribuir a cada item do MTQ uma percentagem associada ao tipo de material que estava a ser classificado. Utiliza-se a percentagem de 100% para o "Material 1", em cerca dos 75,8% dos itens do MTQ, ou seja, os restantes 24,2% dos itens exigem que se identifique o tipo de "Material 2".

Deste modo, a Tabela 26 apresenta as classificações de "Material 2" que foram utilizadas mediante o tipo de "Material 1" selecionado. Quando aparece a classificação *Other* na coluna de "Material 2" significa que, para esse caso, é considerada uma percentagem de 100% para o "Material 1" associado.

Tabela 26 - Tipo de "Material 2" e "Material Remanescente" utilizados mediante o tipo de "Material 1"

Material 1	Material 2	Material Remanescente
Animal fiber or skin, cellulose fiber	Other	Other
Clay based	Other	Other
	Metal	Other
Concrete or cementitious	Other	Other
	Metal	Other
Glass	Other	Other
Gypsum	Other	Other
	Metal	Other
Metal	Other	Other
	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Other
	Clay based	Other
Other	Other	Other
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Other	Other
	Animal fiber or skin, cellulose fiber	Other
	Metal	Other
Stone or aggregate	Other	Other
Timber or timber based	Other	Other

Conclui-se que os itens classificados como fibra de animal (*Animal fiber or skin, celulose fiber*), vidro (*Glass*), agregado (*Stone or aggregate*) e madeira (*Timber or timber based*) assumem sempre uma percentagem de 100%. Os restantes, para além de também obterem essa percentagem, contêm itens que exigem uma segunda classificação.

A Tabela 27, a Tabela 28 e a Tabela 29 concretizam o que acaba de ser demonstrado, com os valores reais das percentagens utilizadas. Cada uma das tabelas diz respeito ao "Material 1", "Material 2" e "Material Remanescente", respetivamente, e designam as quantidades de material (kg) e o respetivo peso total (kg) associado a essa classificação.

Para auxiliar o leitor a interpretar as tabelas seguintes é importante referir que na coluna do tipo de material ("Material 1", "Material 2" e "Material Remanescente") apresentam-se as designações utilizadas para cada um deles, ou seja, na Tabela 28 aparecem as cinco nomenclaturas usadas para o "Material 2" (*Animal fiber (...)*, *Clay based*, *Metal*, *Other*, *Plastic (...)*). Seguidamente, continuando com o exemplo da Tabela 28, para cada classificação surge um valor expresso em percentagem. Esse valor significa que quando se classificou o "Material 2" como *Clay based*, utilizaram-se as percentagens de 40 e 50%. Acrescentam-se ainda duas colunas relativas à quantidade de material e ao peso total. Na verdade, 40% de 5720 kg, peso total, corresponde a 2288 kg, quantidade de "Material 2".

Em suma, as tabelas mencionadas apresentam, para cada tipo de material, a classificação que foi utilizada e a percentagem que lhe foi atribuída, ou seja, tornam-se num complemento da Tabela 26.

Tabela 27 - Percentagens atribuídas ao tipo de "Material 1"

Material 1	Quantidade de Material 1 (kg)	Peso (kg)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	**1771**	**1771**
100%	1771	1771
Clay based	**4287**	**4407**
80%	480	600
100%	3807	3807
Concrete or cementitious	**17894693**	**17895093**
97%	12831	13231
100%	17881862	17881862
Glass	**53**	**53**
100%	53	53
Gypsum	**105871**	**263664**
40%	105165	262912
60%	68	114
100%	638	638
Metal	**1191203**	**1214338**
10%	198	1662
30%	416	1386
40%	112	279
50%	43486	63557
57%	34	60
58%	14	25
60%	396	660
75%	200	200
80%	304	380
90%	779	866
100%	1145263	1145263
Other	**3**	**3**
100%	3	3
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	**1902675**	**1903424**
40%	86	215
50%	1	3
62%	954	1539
80%	10	13
100%	1901624	1901655
Stone or aggregate	**19193097**	**19193097**
100%	19193097	19193097
Timber or timber based	**4202**	**4202**
100%	4202	4202
(em branco)	**0**	**0**
100%	0	0
Total Geral	**40297855**	**40480052**

Tabela 28 - Percentagens atribuídas ao tipo de "Material 2"

Material 2	Quantidade de Material 2 (kg)	Peso (kg)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	**86**	**215**
40%	86	215
Clay based	**2340**	**5825**
40%	2288	5720
50%	52	105
Metal	**55838**	**278412**
3%	400	13231
10%	2122	21215
20%	44239	221196
38%	585	1539
40%	8492	21230
Other	**11661**	**40155673**
0%	0	40130107
50%	11661	23322
(em branco)	0	2245
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	**16234**	**39927**
0%	0	29
10%	846	8462
20%	76	380
25%	50	200
40%	641	1603
42%	8	19
42%	3	6
43%	26	60
50%	14584	29168
Total Geral	**86158**	**40480052**

Tabela 29 - Percentagens atribuídas ao tipo de "Material Remanescente"

Material Remanescente	Quantidade de Material Remanescente (kg)	Peso (kg)
Other	**107797**	**40480052**
0%	0	6
0%	0	40201952
10%	1	13
10%	732	7325
20%	4266	21331
30%	198	660
40%	88238	220596
40%	1446	3614
50%	10754	21508
60%	831	1386
80%	1330	1662
Total Geral	**107797**	**40480052**

A segunda etapa consiste em converter as unidades do MTQ para quilograma, recorde-se a Figura 26. O capítulo anterior fornece diversos exemplos explicativos do modo como deve ser efetuado o processo, e ainda resoluções possíveis para os casos mais críticos, nomeadamente quando a FT não contém informações relevantes sobre o consumo do material. Sendo assim, considera-se relevante mostrar, através da Tabela 30, para cada tipo de material, quais as unidades que constam no MTQ e, após a devida conversão, o peso que lhes está associado.

Tabela 30 - Unidades do MTQ mediante o tipo de material

Unidades do MTQ por tipo de Material	Soma de Peso [kg]
Animal fibre or skin, cellulose fibre	**1771**
m²	1771
Clay based	**4407**
m²	2763
un	1644
Concrete or cementitious	**17895093**
m	122605
m²	11294715
m³	6073704
ml	82674
un	321393
vg	1
Glass	**53**
m²	36
un	17
vg	0
Gypsum	**263664**
m	638
m²	263026
Metal	**1214338**
cj	17213
kg	559679
m	312846
m²	150665
ml	41975
un	131073
vg	887
Other	**3**
cj	0
m²	0
un	3
vg	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	**1903424**
m	3764
m²	1886682
ml	5495
un	7478
vg	6
Stone or aggregate	**19193097**
m	318720
m²	10009600
m³	8734368
ml	126143
un	4266
Timber or timber based	**4202**
m²	1738
un	2464
Total Geral	**40480052**

Foi assinalada na tabela a única linha que continha como unidade de expressão o quilograma, correspondendo ao material *Metal*. Acrescente-se que os 559.679 kg, a essa linha associados, representam 1,38% do peso total e correspondem a apenas 7 dos 1612 itens do MTQ, ou seja, apenas 0,43% dos itens não exigiu que se realizasse a conversão. A título de exemplo, refere-se que 1103 itens estavam expressos em unidade, valor global ou conjunto e apenas 502 em metro, metro linear, metro quadrado ou metro cúbico.

A Figura 80 permite visualizar de forma esquemática o parágrafo anterior.

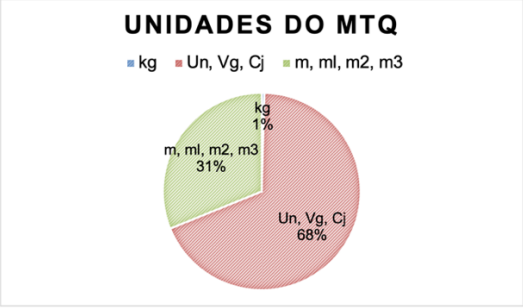


Figura 80 - Distribuição das unidades do MTQ da obra caso de estudo

Compreende-se, neste ponto, a exigência de elaborar corretamente a segunda etapa da metodologia e, ainda, os recursos a nível de tempo que são consumidos para a realizar devidamente. Quanto maior a dimensão da obra, provavelmente maior a quantidade de itens a analisar. No caso de estudo são 1605, no total, os itens que exigem pesquisa de FT e, consequentemente, a sua conversão para quilograma.

Concluída a etapa anterior, segue-se a realização da classificação da quantidade de $kgCO_2eq/kg$ incorporada em cada tipo de material. Sendo assim, aborda-se a terceira etapa da primeira fase, identificada pela Figura 31.

No Capítulo 4 foram demonstrados os coeficientes de carbono a atribuir a cada tipo de material, através da Tabela 8. Sendo assim, neste subcapítulo apresentam-se os valores das Pegadas de Carbono associadas aos três tipos de material: "Material 1", "Material 2" e "Material Remanescente".

A Tabela 31 diz respeito à Pegada de Carbono provocada pelo "Material 1". Discriminam-se os valores pelo tipo de material classificado e apresenta-se o coeficiente de carbono utilizado para cada um. Conclui-se que o conjunto de todos os "Materiais 1" emitem no total 9.653.008 $kgCO_2eq$.

Tabela 31 - Pegada de Carbono por tipo de "Material 1"

Material 1	Pegada de Material 1 (kgCO2eq)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	**6906**
3,9	6906
Clay based	**3344**
0,78	3344
Concrete or cementitious	**3543149**
0,198	3543149
Glass	**71**
1,35	71
Gypsum	**41290**
0,39	41290
Metal	**2418142**
2,03	2418142
Other	**23**
7	23
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	**3538976**
1,86	3538976
Stone or aggregate	**99804**
0,0052	99804
Timber or timber based	**1303**
0,31	1303
Total Geral	**9653008**

Relativamente ao conjunto de todos os itens que exigem a classificação do "Material 2", mostra-se, na Tabela 32, a sua Pegada de Carbono associada, perfazendo no total 227.331 $kgCO_2eq$, bastante inferior ao valor acima apresentado.

Tabela 32 - Pegada de Carbono por tipo de "Material 2"

Material 2	Pegada de Material 2 (kgCO2eq)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	**335**
3,9	335
Clay based	**1825**
0,78	1825
Metal	**113350**
2,03	113350
Other	**81626**
7	81626
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	**30195**
1,86	30195
Total Geral	**227331**

Por fim, o "Material Remanescente", como tem vindo a ser explicado, tem apenas a classificação *Other*, logo é esse o único tipo de material apresentado na Tabela 33. O conjunto de todos os materiais assim classificados emitem, no total, cerca de 754.578 $kgCO_2eq$.

Tabela 33 - Pegada de Carbono por Tipo de "Material Remanescente"

Material Remanescente	Pegada de Material Remanescente (kgCO2eq)
Other	**754578**
7	754578
Total Geral	**754578**

Em suma, através da Tabela 34, apresenta-se o resultado final do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono da obra caso de estudo, correspondendo a um valor total de 10.634.918 $kgCO_2eq$, obtida por aplicação do Método Expedito.

Tabela 34 - Pegada de Carbono associada a cada tipo de material

Unidade	Pegada "Material 1"	Pegada "Material 2"	Pegada "Material Remanescente"	Soma de Pegada Total
$kgCO_2eq$	9653008	227331	754578	10634918
%	91%	2%	7%	100%

A Pegada associada ao "Material 1", como expectável, representa praticamente a totalidade. Seguidamente, é o "Material Remanescente" que apresenta a percentagem mais elevada e, clarifica-se desde já o leitor, que tal sucede porque a quantidade de "Material Remanescente" é superior à quantidade de "Material 2" (comprovado na Tabela 25). Mais ainda, o coeficiente de carbono associado ao "Material Remanescente" apresenta sempre o maior valor (7 $kgCO_2eq/kg$), enquanto que, no "Material 2", são utilizados cinco coeficientes de carbono distintos e o que tem maior influência corresponde a 2,03 $kgCO_2eq/kg$ (para o *Metal* que é o que assume maior relevância no "Material 2", comprovado através da Figura 79).

Relembra-se que a classificação dos materiais mediante um coeficiente de carbono tem como principal objetivo fornecer o valor final da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono, que corresponde a 10.634.918 $kgCO_2eq$. Sendo assim, divide-se o valor anteriormente referido (expresso em $kgCO_2eq$) pela área bruta de construção (20.000 m^2) da unidade industrial em estudo:

$$10.634.918 \div 20.000 = 531{,}7\ kgCO_2eq/m^2$$

Obtém-se como valor final 531,7 $kgCO_2eq/m^2$, associado às emissões de CO_2eq provocadas pela utilização de todos os materiais referidos para a construção da unidade industrial. Este valor permite fornecer ao cliente uma estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono da obra e deve ser calculado em fase de pré-dimensionamento, para poder ser melhorado através da utilização de materiais com um melhor desempenho.

É importante referir que a base de dados ICE utiliza a análise *cradle-to-gate* ("do berço ao portão") para fornecer os valores dos coeficientes de carbono. São incluídas todas as atividades desde a extração de matérias-primas (A1), transporte (A2) e processos necessários para o fabrico de um determinado produto (A3) até à sua saída da fábrica. Sendo assim, o valor apresentado (531,7 $kgCO_2eq/m^2$) corresponde a essa análise e compreende as etapas A1-A3 que são as que apresentam uma maior influência no ciclo de vida do produto.

Este cálculo é realizado, recorrendo ao Método Expedito, para fornecer ao leitor uma alternativa de avaliar a ACV sem custos associados, contrariamente ao Método Detalhado que usa a plataforma *One*

Click LCA. Outra intenção deste cálculo consiste em permitir que a autora compreenda, de forma crítica, a discrepância de valores entre um cálculo expedito e um mais detalhado, discutido no ponto 5.3.

5.2.2. Método Detalhado: Segunda Fase - Utilização e Preenchimento do Ficheiro Excel a Submeter na Plataforma *One Click LCA*

A segunda fase proposta consiste em preencher o Ficheiro Excel necessário a submeter no *software One Click LCA*, o qual é apresentado no Anexo 2. Recorde-se que a primeira etapa ainda envolve o MTQ e exige uma correspondência entre a classificação BREEAM, apresentada na Tabela 10, e os itens do MTQ. Relembre-se o fluxograma apresentado na Figura 33.

Sendo assim, considera-se relevante apresentar o peso total associado a cada parcela da classificação BREEAM, através da Tabela 35. Todos os itens do MTQ sofreram criteriosamente essa classificação, uma vez que a opção *Not defined* não apresenta qualquer quantidade de peso associada.

Tabela 35 - Peso associado a cada item de *BREEAM International Classification*

BREEAM International Classification	Peso (kg)
Balustrades and handrails	133
Communication, Security and Control Systems	135
Electrical Installations	100354
External solar shading devices, access structures etc.	27296
External walls (envelope, structure and finishes)	1878604
External windows and rooflights	17314
Fire and Lightning Protection	10701
Foundations (including excavation)	18403841
Ground/lowest floor	7940056
Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	551592
Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	6175691
Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	33459
Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	21975
Internal doors	13146
Internal floor finishes (incl. access floors)	6588
Internal wall finishes	23494
Internal walls and partitions	291882
Lift and Conveyor Installations / Systems	263575
Not defined	0
Roof (including coverings)	745713
Sanitary Installations	1921
Stairs and ramps	16189
Structural frame (vertical)	2130666
Upper floors (including horizontal structure)	1758093
Water and waste installations	67633
Total Geral	**40480052**

Dadas as inúmeras opções que a *BREEAM International Classification* contém, torna-se complicado, através da tabela, verificar as parcelas que assumem uma maior importância na análise. Por esse mesmo motivo, criam-se dois gráficos que permitem visualizar, em percentagem, de forma decrescente, a relevância das diversas categorias.

A Figura 81 evidencia as dez parcelas da classificação que obtêm uma maior quantidade de peso associada. Sobressai, de forma distinta, a quantidade de quilos consumidos para a construção das fundações, aproximadamente metade do peso total da obra. Na verdade, cerca de 80% do peso da obra está associado a apenas três categorias: às fundações, ao piso térreo e a estradas, caminhos e pavimentos.

No sentido oposto, os restantes 20% são distribuídos por 21 itens, o que demonstra que a percentagem correspondente a cada um deles é praticamente residual.

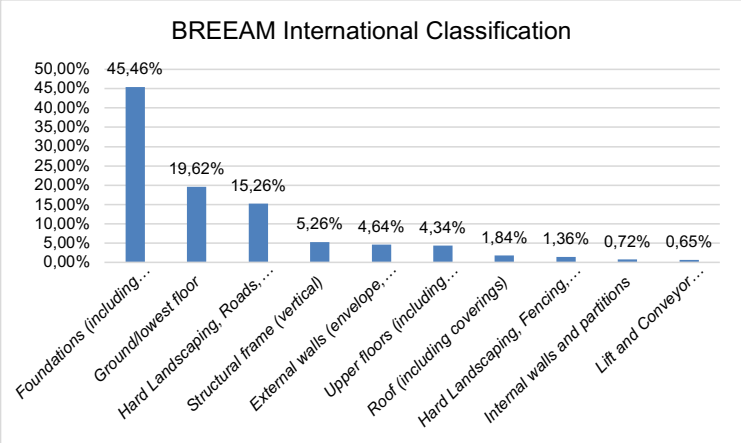


Figura 81 - Distribuição das dez categorias mais influentes na classificação BREEAM, de forma decrescente

A Figura 82 apresenta as restantes 14 categorias cujo peso que lhes foi atribuído não é tão significativo.

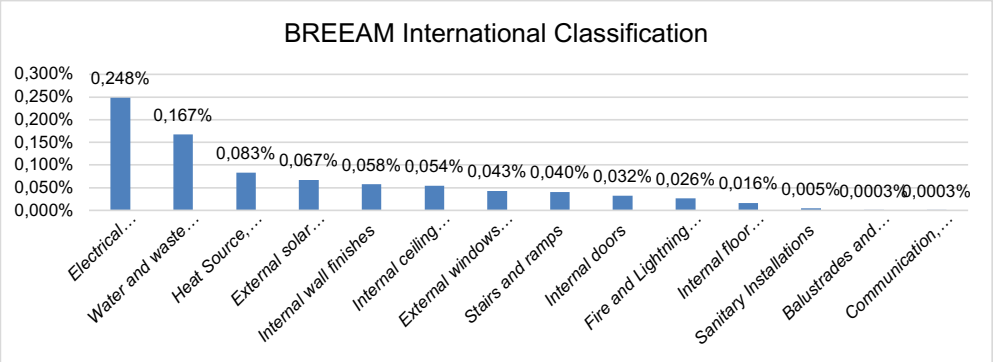


Figura 82 - Distribuição das catorze categorias menos influentes na classificação BREEAM, de forma decrescente

Como o MTQ não divide nem esclarece a quantidade de quilogramas que são consumidos por especialidade ou por categoria, recomenda-se a utilização da *BREEAM International Classification*, pois esta permite fazer essa avaliação e saber os pontos cruciais onde se deve atuar.

Mais importante ainda é referir que pode haver materiais com pouca representatividade ao nível da massa, mas que os impactes ambientais, por quilograma, sejam de uma ordem de grandeza muito maior do que os materiais mais pesados. Por esse mesmo motivo, cria-se a Tabela 36 que apresenta, para cada classificação BREEAM, o valor da Pegada de Carbono que lhe está associado. É importante dar nota que o valor da Pegada de Carbono expresso nessa tabela é obtido através do MTQ, ou seja, mediante os coeficientes de carbono atribuídos, pelo que não está relacionado com a plataforma *One Click LCA*.

A tabela está organizada por ordem decrescente do valor da Pegada de Carbono e contém igualmente os valores da massa de cada categoria (Peso (kg)). Acrescentam-se duas colunas relativas à percentagem da Pegada de Carbono e do Peso associados a cada categoria. São destacadas, na tabela, as onze categorias mais relevantes. Para cada uma destas, é indicada a posição que a mesma assume em termos de importância. Melhor explicando, como a tabela está organizada por ordem decrescente do valor da Pegada de Carbono, essa coluna apresenta as posições das categorias de forma ininterrupta. No entanto, na coluna seguinte, indica-se a posição que uma determinada categoria assume relativamente ao Peso.

É importante referir que esta organização da tabela permite comparar, para a mesma categoria, a importância que esta assume a nível ambiental e ao nível da massa. Por fim, assinalam-se na tabela, a sombreado, as duas únicas categorias que atingem a mesma posição tanto para a Pegada de Carbono como para o Peso.

Tabela 36 - Comparação entre a Pegada de Carbono e o Peso mediante a *BREEAM International Classification*

BREEAM International Classification	Pegada de Carbono (kgCO2eq)	Peso (kg)	Percentagem Pegada de Carbono	Percentagem Peso
Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	2713005	6175691	(1) 25,51%	(3) 15,26%
Ground/lowest floor	1591001	7940056	(2) 14,96%	(2) 19,61%
Roof (including coverings)	1331029	745713	(3) 12,52%	(7) 1,84%
Structural frame (vertical)	992626	2130666	(4) 9,33%	(4) 5,26%
Internal walls and partitions	835533	291882	(5) 7,86%	(9) 0,72%
Foundations (including excavation)	770372	18403841	(6) 7,24%	(1) 45,46%
External walls (envelope, structure and finishes)	739417	1878604	(7) 6,95%	(5) 4,64%
Lift and Conveyor Installations / Systems	535057	263575	(8) 5,03%	(10) 0,65%
Upper floors (including horizontal structure)	348102	1758093	(9) 3,27%	(6) 4,34%
Electrical Installations	277300	100354	(10) 2,61%	(11) 0,25%
Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	124497	551592	(11) 1,17%	(8) 1,36%
Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	67745	33459	0,64%	0,08%
Water and waste installations	61281	67633	0,58%	0,17%
External solar shading devices, access structures etc.	54958	27296	0,52%	0,07%
Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	50571	21975	0,48%	0,05%
External windows and rooflights	35147	17314	0,33%	0,04%
Stairs and ramps	32864	16189	0,31%	0,04%
Internal doors	25485	13146	0,24%	0,03%
Fire and Lightning Protection	22044	10701	0,21%	0,03%
Internal floor finishes (incl. access floors)	15780	6588	0,15%	0,02%
Internal wall finishes	9142	23494	0,09%	0,06%
Sanitary Installations	1234	1921	0,01%	0%
Communication, Security and Control Systems	457	135	0%	0%
Balustrades and handrails	269	133	0%	0%
Not defined	0	0	0%	0%
Total Geral	**10634918**	**40480052**	**100%**	**100%**

Como comentário final, é relevante salientar que apesar de uma dada categoria, nomeadamente a das Fundações, representar quase metade da massa da obra, a nível ambiental encontra-se na sexta posição, o que significa que existem, antes dessa categoria, cinco outras mais influentes para a Pegada de Carbono.

Em suma, deve existir o cuidado de realizar uma divisão dos itens do MTQ pela sua categoria para se perceber quais os produtos mais influentes em termos de peso e, consequentemente, compreender os que exigem uma maior preocupação ao nível da Pegada de Carbono, uma vez que estas duas variantes não estão diretamente relacionadas. Assim, entendem-se os benefícios que são possíveis retirar deste processo, nomeadamente para os recursos a nível de tempo e de pessoal qualificado despendidos a encontrar soluções ambientalmente favoráveis para materiais que no final não afetam significativamente a Pegada de Carbono.

O principal objetivo da segunda etapa da metodologia (Figura 34) é estabelecer uma correspondência entre a *BREEAM International Classification* e a *IFC Class*, necessária a colocar no ficheiro Excel da plataforma *One Click LCA*. A Tabela 12, presente no Capítulo 4, apresenta a associação realizada.

De seguida, é proposto, pela autora, realizar uma tabela dinâmica que visualize a classificação BREEAM e o tipo de material que lhe está associado. Ou seja, está-se perante a terceira etapa da segunda fase do processo, como sugere a Figura 35.

Ao longo do Capítulo 4, são enunciadas a importância de obter a tabela dinâmica, as considerações efetuadas para o facto da mesma conter apenas o tipo de "Material 1" e explicações de como a interpretar. Por esse motivo, neste ponto, apresenta-se a totalidade da tabela e relembra-se que cada um dos elementos que consta na mesma, 68 no total, é descrito na seguinte etapa. Na verdade, a tabela dinâmica apresentada, Tabela 37, consiste numa pormenorização da Tabela 35 e permite ter conhecimento dos materiais associados a cada categoria.

Tabela 37 - Tabela dinâmica relativa a todo o MTQ

Tabela Dinâmica	Peso (kg)
Balustrades and handrails	**133**
Metal	133
Communication, Security and Control Systems	**135**
Metal	123
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	12
Electrical Installations	**100354**
Clay based	600
Concrete or cementitious	13231
Metal	82008
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	4514
External solar shading devices, access structures etc.	**27296**
Metal	24633
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	2663
External walls (envelope, structure and finishes)	**1878604**
Concrete or cementitious	1666744
Metal	90243
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	121617
External windows and rooflights	**17314**
Metal	17314
Fire and Lightning Protection	**10701**
Concrete or cementitious	8
Metal	10635
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	58
Foundations (including excavation)	**18403841**
Concrete or cementitious	3491279
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	838
Stone or aggregate	14911724
Ground/lowest floor	**7940056**
Concrete or cementitious	7929084
Metal	3731
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	7242
Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	**551592**
Concrete or cementitious	543250
Metal	8341
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	1
Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	**6175691**
Concrete or cementitious	501776
Metal	103
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	1393111
Stone or aggregate	4280703
Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	**33459**
Metal	31417
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	2043
Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	**21975**
Gypsum	21868
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	107

Internal doors	**13146**
Glass	11
Metal	12308
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	147
Timber or timber based	680
Internal floor finishes (incl. access floors)	**6588**
Animal fiber or skin, cellulose fiber	1771
Clay based	886
Metal	2786
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	1146
Internal wall finishes	**23494**
Clay based	1877
Concrete or cementitious	19470
Glass	36
Metal	290
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	1691
Timber or timber based	130
Internal walls and partitions	**291882**
Concrete or cementitious	45630
Gypsum	241796
Metal	74
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	990
Timber or timber based	3392
Lift and Conveyor Installations / Systems	**263575**
Metal	263575
Not defined	**0**
Concrete or cementitious	0
Glass	0
Gypsum	0
Metal	0
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	0
Stone or aggregate	0
Timber or timber based	0
(em branco)	0
Roof (including coverings)	**745713**
Concrete or cementitious	66731
Metal	323002
Other	0
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	355980
Sanitary Installations	**1921**
Clay based	1044
Glass	6
Metal	201
Stone or aggregate	670
Stairs and ramps	**16189**
Metal	16189
Structural frame (vertical)	**2130666**
Concrete or cementitious	1819119
Metal	311547
Upper floors (including horizontal structure)	**1758093**
Concrete or cementitious	1758093
Water and waste installations	**67633**
Concrete or cementitious	40679
Metal	15686
Other	3
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	11265
Total Geral	**40480052**

A tabela dinâmica permite visualizar todas as categorias da classificação BREEAM e verificar os tipos de material associados a cada uma, assim como o seu respetivo peso.

Considera-se relevante explicar um dos casos da tabela dinâmica que pode levantar algum tipo de dúvida, nomeadamente a quantidade de produtos cimentícios, 13231 kg, utilizados na categoria das instalações elétricas (*Electrical Installations*). Clarifica-se então que esse valor corresponde a um único item do MTQ, designado como "Monobloco em betão do tipo R10-10 SPL de 24 kV", constituído por dois quadros de média tensão que no total perfazem o peso mencionado.

As três últimas etapas da segunda fase, apresentadas pelas Figura 36, Figura 37 e Figura 38, dizem respeito à elaboração do ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA*. A etapa relativa à definição genérica dos materiais mediante o tipo de "Material 1" e a sua classificação BREEAM apresenta vários exemplos para o seu perfeito entendimento. Relativamente aos quilómetros realizados pelo transporte de cada material, menciona-se que se arbitra, nesta fase, o valor de 100 km para todos os 68 itens definidos. Por fim, visualiza-se ainda um excerto do ficheiro Excel a submeter na plataforma *One Click LCA* (Tabela 15) e um esquema, que explica a proveniência de cada célula a preencher no ficheiro, mais precisamente a Figura 39.

Em conclusão, apresenta-se, no Anexo 2, a versão integral do ficheiro Excel a submeter no *software* que contém, no total, 68 itens, os mesmos que constam na tabela dinâmica e que foram devidamente descritos. Refere-se que esse ficheiro permite realizar o estudo e obter os resultados da ACV.

5.2.3. Método Detalhado: Terceira Fase - Utilização da Plataforma *One Click LCA*

Ao longo da descrição da metodologia, no Capítulo 4, são apresentadas diversas figuras relativas à utilização da plataforma. Os valores expostos correspondem, naturalmente, à obra caso de estudo. Deste modo, para não haver redundância, na abordagem da terceira fase, apenas são apresentados os valores que não foram referidos anteriormente.

A primeira etapa consiste em "Criar um projeto" no *software*. Como a Figura 41 e a Figura 42 apresentam as opções selecionadas para a unidade industrial objeto de estudo, não exigem aqui a sua repetição.

Seguidamente, a etapa apresentada pela Figura 43 consiste em importar os dados necessários para realizar o estudo na plataforma. Sumariamente, explica-se que é neste passo que é necessário submeter o ficheiro Excel (Figura 44), configurá-lo através das opções disponíveis pelo *software* (Figura 45 à Figura 50) e, por fim, realizar a correspondência entre a definição utilizada no ficheiro Excel e a nomenclatura disponível na plataforma (Figura 51). Antecipa-se ao leitor que como apenas é apresentado, no capítulo anterior, um excerto das opções tomadas, são expostos, neste subcapítulo, de forma integral, todos os 68 materiais utilizados com a devida nomenclatura da plataforma. Os mesmos podem-se visualizar desde a Figura 84 à Figura 89.

Após criar o projeto e importar todos os dados necessários seguem-se sete etapas, exigidas pela plataforma *One Click LCA* (Figura 55), cujo objetivo é definir o cenário utilizado tanto no projeto como no estaleiro. Sendo assim, a primeira etapa denominada pelo *software* como *Building Materials* é apresentada na Figura 56.

No Capítulo 4 menciona-se que o *software*, mediante a *IFC Class* identificada pelo utilizador, agrupa automaticamente os materiais em seis categorias distintas, nomeadamente as apresentadas pela Figura 83. Deste modo, a etapa *Building Materials* expõe os 68 materiais referidos mediante a categoria a que pertencem.

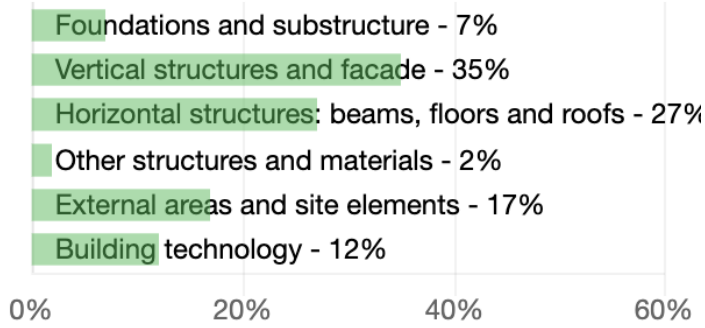


Figura 83 - Percentagens associadas a cada uma das seis categorias

As percentagens atribuídas a cada categoria têm em consideração o peso (kg) que lhes está associado. Da Figura 84 à Figura 89 apresentam-se: a designação que foi atribuída a cada item importado na plataforma (na etapa *Mapping*); o seu peso (definido através da tabela dinâmica); a quantidade de CO_2e, que representa os impactes totais para todas as fases do ciclo de vida por material; o tipo de material na coluna *Comment* (identificado na tabela dinâmica) e a quantidade média de quilómetros percorridos (explicada adiante a atualização do valor) com o devido tipo de transporte.

Acrescente-se que a vida útil, *Service Life*, determina o tempo que o produto está em utilização até ser substituído. As fundações nunca são substituídas e, por esse motivo, são definidas como *Permanent*, ou seja, permanentes. Para alguns produtos, a vida útil padrão é a vida útil da edificação e, por isso, definidos como *As building*. Para outros produtos, estes são substituídos de modo a cumprir o período de avaliação com a frequência necessária, ou seja, apresenta-se o valor numérico correspondente. As substituições são contabilizadas na etapa B4-B5 do ciclo de vida e não ocorrem no último ano do período de avaliação.

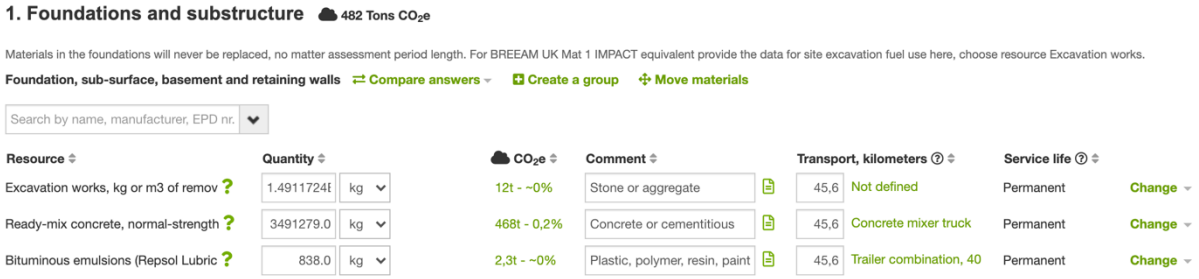
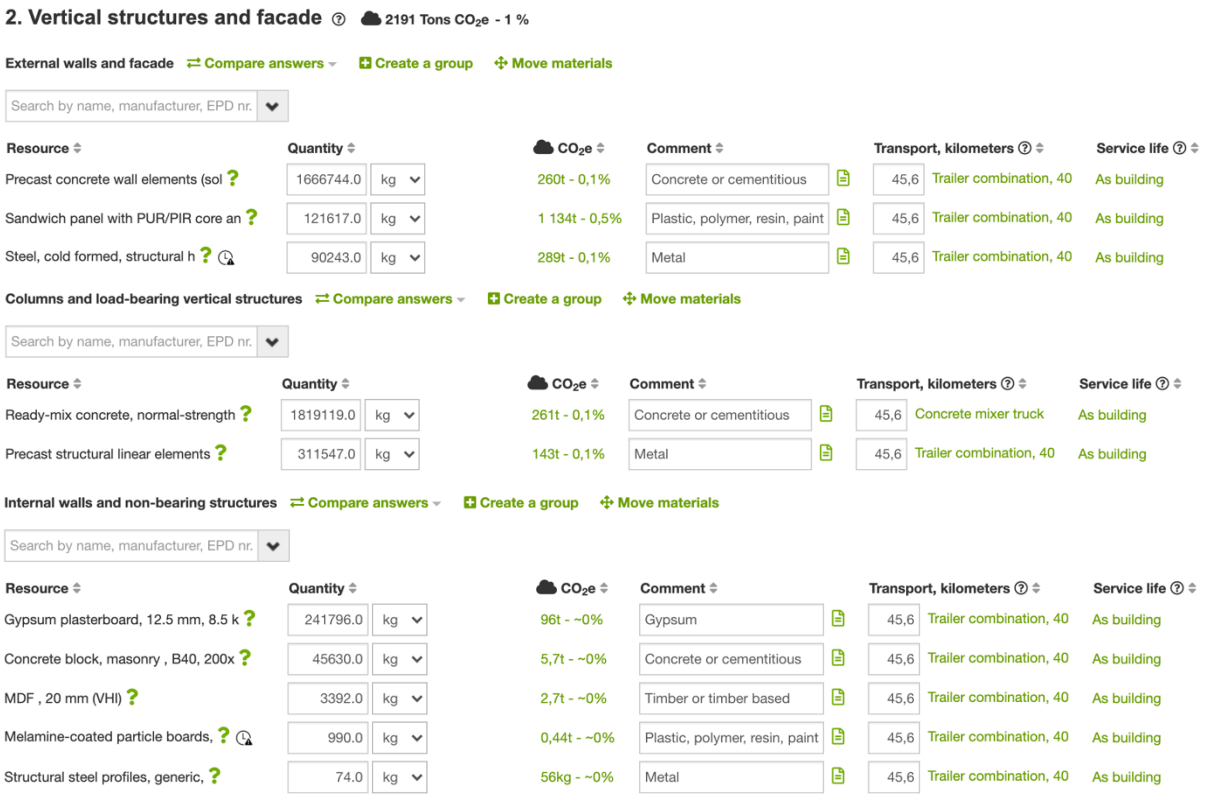


Figura 84 - Categoria: Fundações e subestrutura



2. Vertical structures and facade 2191 Tons CO_2e - 1 %

External walls and facade Compare answers Create a group Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers	Service life
Precast concrete wall elements (sol	1666744.0	kg	260t - 0,1%	Concrete or cementitious	45,6 Trailer combination, 40	As building
Sandwich panel with PUR/PIR core an	121617.0	kg	1 134t - 0,5%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6 Trailer combination, 40	As building
Steel, cold formed, structural h	90243.0	kg	289t - 0,1%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building

Columns and load-bearing vertical structures Compare answers Create a group Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

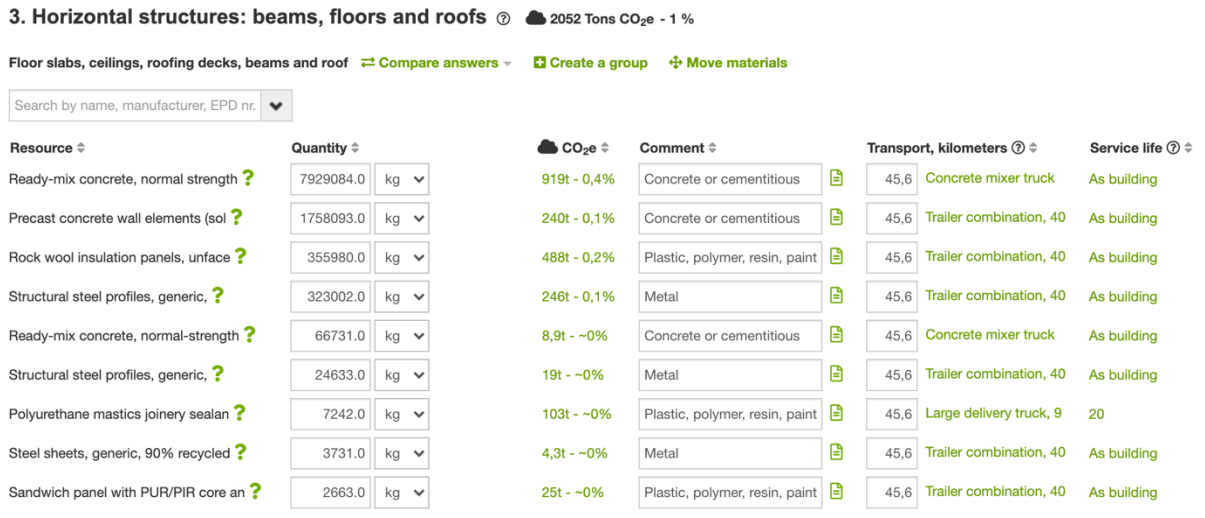
Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers	Service life
Ready-mix concrete, normal-strength	1819119.0	kg	261t - 0,1%	Concrete or cementitious	45,6 Concrete mixer truck	As building
Precast structural linear elements	311547.0	kg	143t - 0,1%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building

Internal walls and non-bearing structures Compare answers Create a group Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers	Service life
Gypsum plasterboard, 12.5 mm, 8.5 k	241796.0	kg	96t - ~0%	Gypsum	45,6 Trailer combination, 40	As building
Concrete block, masonry , B40, 200x	45630.0	kg	5,7t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6 Trailer combination, 40	As building
MDF , 20 mm (VHI)	3392.0	kg	2,7t - ~0%	Timber or timber based	45,6 Trailer combination, 40	As building
Melamine-coated particle boards,	990.0	kg	0,44t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6 Trailer combination, 40	As building
Structural steel profiles, generic,	74.0	kg	56kg - ~0%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building

Figura 85 - Categoria: Estrutura vertical e fachada



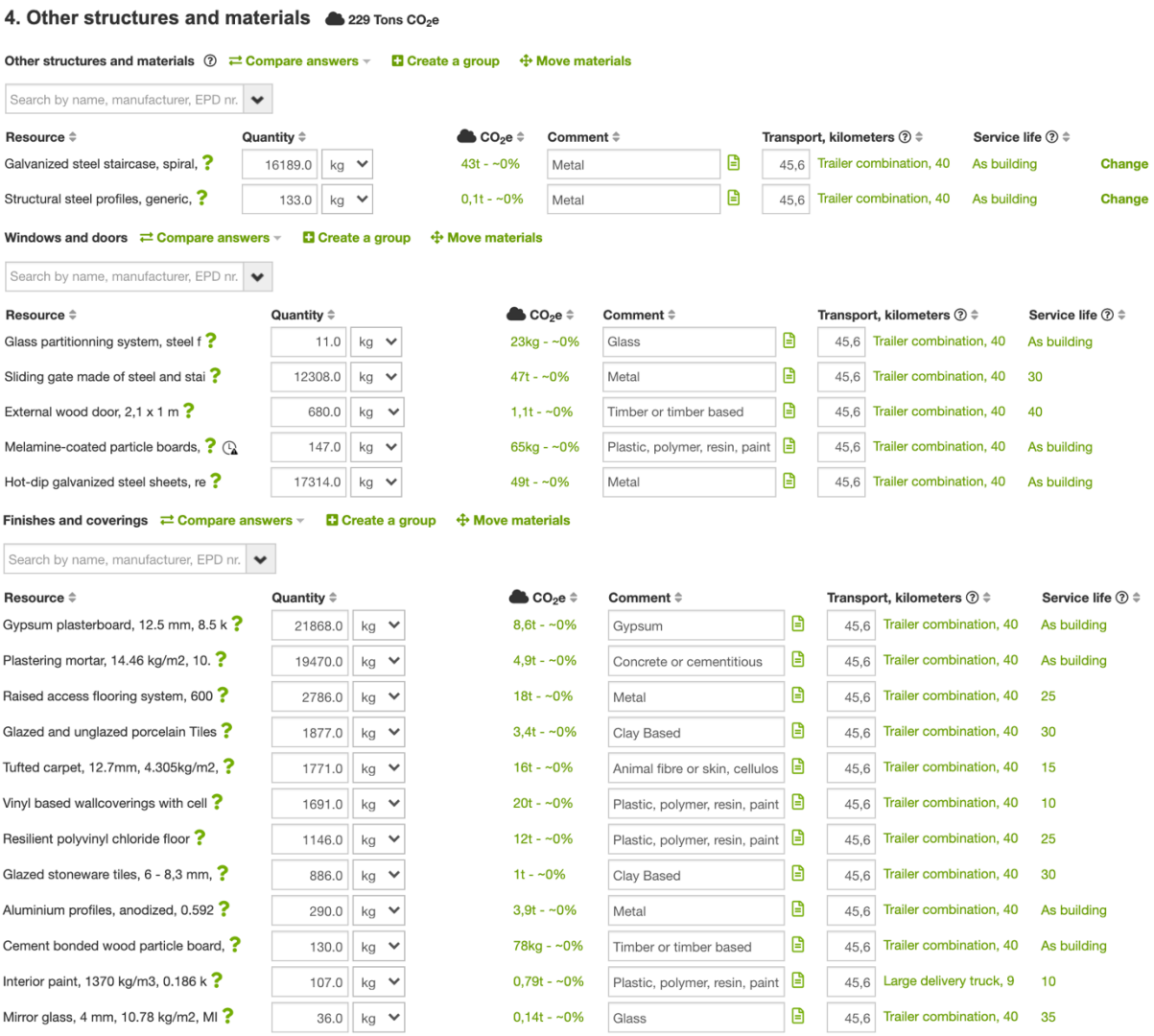
3. Horizontal structures: beams, floors and roofs 2052 Tons CO_2e - 1 %

Floor slabs, ceilings, roofing decks, beams and roof Compare answers Create a group Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers	Service life
Ready-mix concrete, normal strength	7929084.0	kg	919t - 0,4%	Concrete or cementitious	45,6 Concrete mixer truck	As building
Precast concrete wall elements (sol	1758093.0	kg	240t - 0,1%	Concrete or cementitious	45,6 Trailer combination, 40	As building
Rock wool insulation panels, unface	355980.0	kg	488t - 0,2%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6 Trailer combination, 40	As building
Structural steel profiles, generic,	323002.0	kg	246t - 0,1%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building
Ready-mix concrete, normal-strength	66731.0	kg	8,9t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6 Concrete mixer truck	As building
Structural steel profiles, generic,	24633.0	kg	19t - ~0%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building
Polyurethane mastics joinery sealan	7242.0	kg	103t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6 Large delivery truck, 9	20
Steel sheets, generic, 90% recycled	3731.0	kg	4,3t - ~0%	Metal	45,6 Trailer combination, 40	As building
Sandwich panel with PUR/PIR core an	2663.0	kg	25t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6 Trailer combination, 40	As building

Figura 86 - Categoria: Estruturas horizontais: vigas, pisos e coberturas



4. Other structures and materials 229 Tons CO_2e

Other structures and materials Compare answers | Create a group | Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		Service life	
Galvanized steel staircase, spiral,	16189.0	kg	43t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building	Change
Structural steel profiles, generic,	133.0	kg	0,1t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building	Change

Windows and doors Compare answers | Create a group | Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

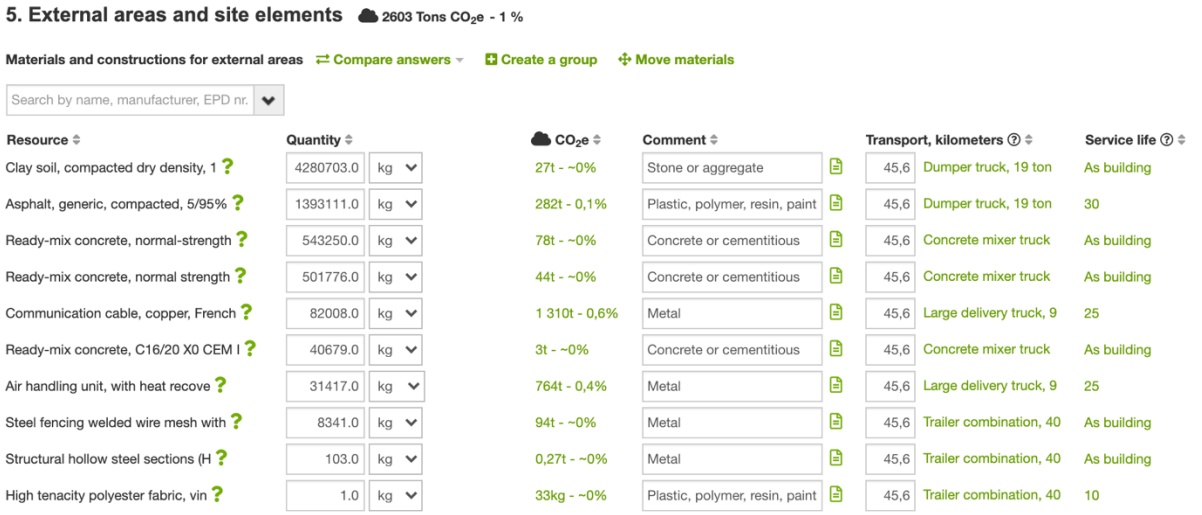
Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		Service life
Glass partitionning system, steel f	11.0	kg	23kg - ~0%	Glass	45,6	Trailer combination, 40	As building
Sliding gate made of steel and stai	12308.0	kg	47t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	30
External wood door, 2,1 x 1 m	680.0	kg	1,1t - ~0%	Timber or timber based	45,6	Trailer combination, 40	40
Melamine-coated particle boards,	147.0	kg	65kg - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Trailer combination, 40	As building
Hot-dip galvanized steel sheets, re	17314.0	kg	49t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building

Finishes and coverings Compare answers | Create a group | Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		Service life
Gypsum plasterboard, 12.5 mm, 8.5 k	21868.0	kg	8,6t - ~0%	Gypsum	45,6	Trailer combination, 40	As building
Plastering mortar, 14.46 kg/m2, 10.	19470.0	kg	4,9t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Trailer combination, 40	As building
Raised access flooring system, 600	2786.0	kg	18t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	25
Glazed and unglazed porcelain Tiles	1877.0	kg	3,4t - ~0%	Clay Based	45,6	Trailer combination, 40	30
Tufted carpet, 12.7mm, 4.305kg/m2,	1771.0	kg	16t - ~0%	Animal fibre or skin, cellulos	45,6	Trailer combination, 40	15
Vinyl based wallcoverings with cell	1691.0	kg	20t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Trailer combination, 40	10
Resilient polyvinyl chloride floor	1146.0	kg	12t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Trailer combination, 40	25
Glazed stoneware tiles, 6 - 8,3 mm,	886.0	kg	1t - ~0%	Clay Based	45,6	Trailer combination, 40	30
Aluminium profiles, anodized, 0.592	290.0	kg	3,9t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building
Cement bonded wood particle board,	130.0	kg	78kg - ~0%	Timber or timber based	45,6	Trailer combination, 40	As building
Interior paint, 1370 kg/m3, 0.186 k	107.0	kg	0,79t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	10
Mirror glass, 4 mm, 10.78 kg/m2, MI	36.0	kg	0,14t - ~0%	Glass	45,6	Trailer combination, 40	35

Figura 87 - Categoria: Outras estruturas e materiais



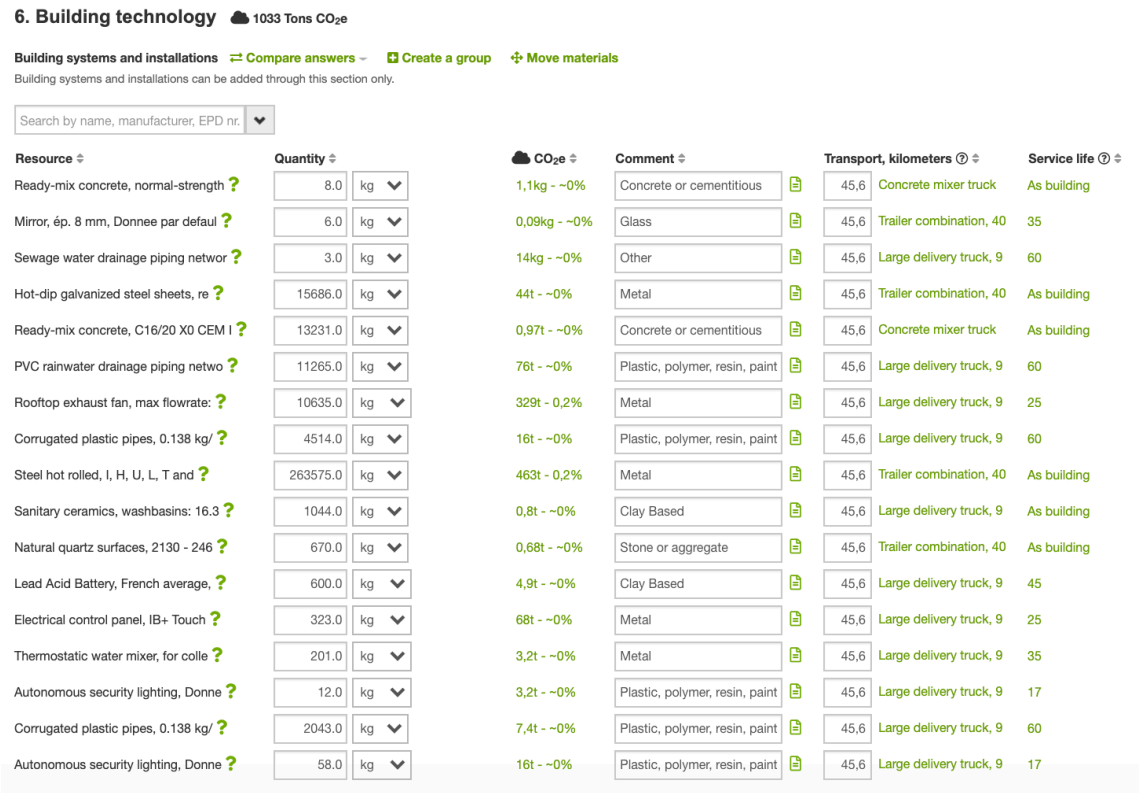
5. External areas and site elements 2603 Tons CO_2e - 1 %

Materials and constructions for external areas Compare answers | Create a group | Move materials

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		Service life
Clay soil, compacted dry density, 1	4280703.0	kg	27t - ~0%	Stone or aggregate	45,6	Dumper truck, 19 ton	As building
Asphalt, generic, compacted, 5/95%	1393111.0	kg	282t - 0,1%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Dumper truck, 19 ton	30
Ready-mix concrete, normal-strength	543250.0	kg	78t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Concrete mixer truck	As building
Ready-mix concrete, normal strength	501776.0	kg	44t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Concrete mixer truck	As building
Communication cable, copper, French	82008.0	kg	1 310t - 0,6%	Metal	45,6	Large delivery truck, 9	25
Ready-mix concrete, C16/20 X0 CEM I	40679.0	kg	3t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Concrete mixer truck	As building
Air handling unit, with heat recove	31417.0	kg	764t - 0,4%	Metal	45,6	Large delivery truck, 9	25
Steel fencing welded wire mesh with	8341.0	kg	94t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building
Structural hollow steel sections (H	103.0	kg	0,27t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building
High tenacity polyester fabric, vin	1.0	kg	33kg - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Trailer combination, 40	10

Figura 88 - Categoria: Áreas exteriores e elementos do local



6. Building technology 1033 Tons CO_2e

Building systems and installations Compare answers Create a group Move materials

Building systems and installations can be added through this section only.

Search by name, manufacturer, EPD nr.

Resource	Quantity		CO_2e	Comment	Transport, kilometers		Service life
Ready-mix concrete, normal-strength	8.0	kg	1,1kg - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Concrete mixer truck	As building
Mirror, ép. 8 mm, Donnee par defaul	6.0	kg	0,09kg - ~0%	Glass	45,6	Trailer combination, 40	35
Sewage water drainage piping networ	3.0	kg	14kg - ~0%	Other	45,6	Large delivery truck, 9	60
Hot-dip galvanized steel sheets, re	15686.0	kg	44t - ~0%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building
Ready-mix concrete, C16/20 X0 CEM I	13231.0	kg	0,97t - ~0%	Concrete or cementitious	45,6	Concrete mixer truck	As building
PVC rainwater drainage piping netwo	11265.0	kg	76t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	60
Rooftop exhaust fan, max flowrate:	10635.0	kg	329t - 0,2%	Metal	45,6	Large delivery truck, 9	25
Corrugated plastic pipes, 0.138 kg/	4514.0	kg	16t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	60
Steel hot rolled, I, H, U, L, T and	263575.0	kg	463t - 0,2%	Metal	45,6	Trailer combination, 40	As building
Sanitary ceramics, washbasins: 16.3	1044.0	kg	0,8t - ~0%	Clay Based	45,6	Large delivery truck, 9	As building
Natural quartz surfaces, 2130 - 246	670.0	kg	0,68t - ~0%	Stone or aggregate	45,6	Trailer combination, 40	As building
Lead Acid Battery, French average,	600.0	kg	4,9t - ~0%	Clay Based	45,6	Large delivery truck, 9	45
Electrical control panel, IB+ Touch	323.0	kg	68t - ~0%	Metal	45,6	Large delivery truck, 9	25
Thermostatic water mixer, for colle	201.0	kg	3,2t - ~0%	Metal	45,6	Large delivery truck, 9	35
Autonomous security lighting, Donne	12.0	kg	3,2t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	17
Corrugated plastic pipes, 0.138 kg/	2043.0	kg	7,4t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	60
Autonomous security lighting, Donne	58.0	kg	16t - ~0%	Plastic, polymer, resin, paint	45,6	Large delivery truck, 9	17

Figura 89 - Categoria: Tecnologia do Edifício

O processo para calcular a quantidade média de quilómetros percorridos foi devidamente explicado no capítulo anterior. Na presente etapa, *Building Materials*, é necessário colocar o valor, atualizado, da média dos transportes percorridos cuja finalidade abrange as opções: Água, Betão, Entrega de Material e Terra Vegetal. Após a realização do cálculo, obtém-se como valor final médio 45,6 km. Inicialmente tinham sido considerados 100 km, bastante superior ao valor efetivamente obtido. Clarifica-se então que a média dos quilómetros percorridos (91 km), fornecida pela empresa executante, não teve em consideração a separação do cálculo da distância associada ao transporte de materiais e do transporte de equipamentos, o que provoca um agravamento no valor final. Além disso, na obra caso de estudo, o betão fornecido percorria uma distância máxima de 20 km, contrariamente à obra que serviu de base para o valor médio de 91 km.

A segunda e a terceira etapas a realizar na plataforma *One Click LCA* dizem respeito aos consumos anuais de Energia (Figura 58) e Água (Figura 64), respetivamente, e compreendem valores fornecidos pela Equipa de Projeto que foram apresentados no capítulo anterior.

Relativamente à Energia, apresentam-se quatro valores distintos, nomeadamente o consumo de eletricidade (1.435.000 kWh - Figura 59), o de gasóleo para os equipamentos afetos à obra (200 l - Figura 60), o de gás natural para os fornos industriais e pinturas (10.038.000 kWh - Figura 60) e, por fim, a energia exportada que é produzida pelos painéis fotovoltaicos (410.000 kWh - Figura 63).

No que diz respeito aos consumos anuais de Água, estes dividem-se em dois, mais concretamente o utilizado para água da torneira potável para a zona administrativa (4000 m^3) e, por outro lado, a quantidade de água que é gasta para a rega (5000 m^3), ambos apresentados na Figura 65.

Seguidamente, a quarta etapa, assinalada no fluxograma da Figura 66, denominada pela plataforma como *Construction site operations*, divide-se em quatro principais fases: a energia utilizada; os consumos de água; os resíduos produzidos (estas três fases são referentes ao estaleiro); as viagens

adicionais realizadas para transporte de equipamentos até ao estaleiro, ou com outra finalidade não relacionada com os materiais.

No que diz respeito à energia utilizada no estaleiro, a Figura 68 apresenta os valores finais de eletricidade e gasóleo consumidos. Até ao final do período de permanência em obra da autora, Dezembro de 2020, não havia eletricidade proveniente da rede, ou seja, o valor apresentado (47.000 kWh) é calculado com base na magnitude de uma obra semelhante da empresa executante. Considera-se relevante apresentar, através da Tabela 38, o cálculo que deu origem ao valor referido.

Tabela 38 - Consumo de Eletricidade no estaleiro

Obra Caso de Estudo	**Obra de referência**
Área (m²)	
20.000	40.000
Energia consumida no estaleiro (kWh)	
-	243.848
Período de análise (meses)	
5	13
Valor médio expectável (kWh)	**Média (kWh)**
9.379	18.758
Extrapolação (kWh)	
46.894	
Valor utilizado (kWh)	
47.000	

Por outro lado, o valor de 99.876 l, associado ao consumo de todos os equipamentos afetos à obra, é obtido através da Tabela 39. Os subempreiteiros forneceram à autora os consumos totais dos seus equipamentos utilizados no estaleiro até ao mês de Dezembro. Através do plano de trabalhos da obra tem-se conhecimento dos equipamentos que ainda são utilizados pelos subempreiteiros até ao término da edificação e, assim, é possível estimá-los. Os consumos realizados pelos equipamentos da empresa executante são indicados pela mesma e estimados de modo semelhante.

Tabela 39 - Consumo de *Diesel* no estaleiro

Data	**Máquina**	**Gasóleo Consumido (L)**	**Empresa**
01/09/2020	Consumo Agosto	4846	Subempreiteiro 1
01/10/2020	Consumo Setembro	6449	Subempreiteiro 1
01/11/2020	Consumo Outubro	3019	Subempreiteiro 1
01/12/2020	Consumo Novembro	2194	Subempreiteiro 1
09/12/2020	Motoniveladora	720	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Cilindro	240	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Mini pá carregadora	120	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Escavadora de rodas	720	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Pavimentadora	80	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Cilindro de pneus	40	Subempreiteiro 2
09/12/2020	Cilindro de rolos	40	Subempreiteiro 2
04/12/2020	Mini pá carregadora	59	Empresa Executante
04/12/2020	Cortadora betão gasolina HUSQVARNA	302,91	Empresa Executante
04/12/2020	GERADOR PRAMAC GSW 110 (MOTOR IVECO)	12530,44	Empresa Executante
04/12/2020	EMPILHADOR TELESCOPICO MANITOU MT1840	6488,07	Empresa Executante
04/12/2020	Placa compactador TECHNOFLEX	120,55	Empresa Executante
04/12/2020	Mini pá carregadora BOBCAT S550	2525,06	Empresa Executante
04/12/2020	Plataforma tesoura elétrica HAULOTTE COMPACT12	0	Empresa Executante
04/12/2020	Máquina retro VOLVO BL71 PLUS	1386	Empresa Executante
04/12/2020	Mini Giratoria KOMATSU PC35 MR	2813,49	Empresa Executante
04/12/2020	Compressor Movel DEMAG DS100	1648,11	Empresa Executante
30/03/2021	Máquinas Subempreiteiro 3 - estimado	16500	Subempreiteiro 3
30/03/2021	Máquinas Subempreiteiro 4 - estimado	8500	Subempreiteiro 4
15/01/2021	Máquinas Subempreiteiro 5 - estimado	1750	Subempreiteiro 5
01/04/2021	Gerador Arranque - instalado	600	Dono de Obra
30/03/2021	Máquinas externas alugadas à Empresa executante - estimado	10500	Empresa Executante
15/01/2021	Máquinas Subempreiteiro 2 - estimado	400	Subempreiteiro 2
30/03/2021	Máquinas Empresa executante - estimado	15284,19	Empresa Executante
Total:		**99876**	

Relativamente à quantidade de água consumida no estaleiro, apresentada pela Figura 69, explica-se que esse valor é obtido através da observação dos valores do contador de água e realizando uma extrapolação para o período no qual a autora não está presente na obra.

O primeiro valor observado corresponde a 280,8 m^3, no dia 30 do mês de Setembro. Como até a essa data não tinha havido o registo mensal dos valores, opta-se por dividi-lo pelos meses de funcionamento do estaleiro, ou seja, por 4 (de Junho a Setembro), obtendo uma média aproximada de 70,2 m^3 por mês. A partir dessa data, procede-se a uma consulta mensal do contador de modo a controlar os consumos.

Apesar de apenas ser necessário colocar no *software* o valor total, é prudente realizar esta divisão mensal pois, quando se procede à extrapolação para os meses de Janeiro a Abril, consegue-se visualizar, através do planeamento, as tarefas que foram realizadas que contribuíram para um aumento ou diminuição dos consumos de água no estaleiro. Deste modo, a estimativa realizada encontra-se bastante próxima do valor exato. A Tabela 40 apresenta os valores observados, com a respetiva data, e a quantidade a considerar por mês.

A título de exemplo, refere-se que os consumos de água no estaleiro foram menores do que noutras obras semelhantes devido à época em que foram realizadas as betonagens. Na obra caso de estudo, betonou-se entre Setembro e Novembro, período que apresenta uma humidade relativa superior aos meses de Verão e, sendo assim, não é necessário gastar grandes quantidades de água para a rega do agregado, comparativamente com as outras obras cuja betonagem é em períodos quentes.

Tabela 40 - Valores observados no contador de água

Data	**Valor observado no contador (m^3)**	**Quantidade (m^3)**
30/06/2020	-	70,2
31/07/2020	-	70,2
31/08/2020	-	70,2
30/09/2020	280,8	70,2
31/10/2020	362,5	81,7
30/11/2020	513,7	151,2
15/12/2020	550,7	37,0
Total contador:		**550,7**

Ao longo da explicação da metodologia, referiu-se que é realizado um controlo dos transportes que chegam à obra, onde é ainda identificado o tipo de funcionalidade do mesmo. Das várias opções mencionadas salienta-se, para este ponto, a opção "Água" que significa que houve um determinado transporte cujo objetivo era fornecer água para o estaleiro. Registaram-se, no total, 58 viagens com esta finalidade e, sabendo que a capacidade desse transporte são 7000 l, calcula-se a quantidade de água que foi transportada para o estaleiro e cujo valor não entrou para o registo do contador. Obtém-se um valor de 406 m^3 (Tabela 41), a adicionar ao valor da tabela anterior. É importante referir que o impacte deste transporte é obviamente tido em consideração no cálculo da média dos transportes na etapa *Building Materials* (45,6 km).

Tabela 41 - Quantidade de água transportada para o estaleiro

Tipo de Funcionalidade	**Nº de viagens**	**Capacidade (L)**	**Quantidade (m^3)**
Transporte "Água"	58	7000	406

A Tabela 42 apresenta: o valor final observado (através do contador e do registo dos transportes); o valor a extrapolar e o valor final a considerar, que corresponde a 1.295,6 m^3 de água.

Tabela 42 - Extrapolação para obter o consumo final de água no estaleiro

Consumo total de Água no estaleiro (m^3)	**Período**
Observado	
956,7	01/06/2020 a 15/12/2020
Extrapolação	
338,9	15/12/2020 a 30/04/2021
Total: 1.295,6 m^3	

Recorda-se o leitor que a Figura 70 apresenta a quantidade de resíduos produzidos no estaleiro, cujos valores são obtidos através da consulta das eGAR's e realizando uma extrapolação. Relativamente às eGAR's, conseguiram-se recolher dados até ao término do mês de Novembro e os restantes valores são extrapolados. A Tabela 43 apresenta os cálculos intermédios realizados e os valores finais que constam na plataforma. A última coluna ("Correspondência *One Click LCA*") mostra a designação utilizada no *software*, visto que este não contém os códigos nacionais apresentados na coluna "Código eGAR".

Tabela 43 - Extrapolação para obter a quantidade final de resíduos produzidos no estaleiro

	Valores de Julho a Novembro (5 meses)	**Extrapolação de Dezembro a Abril (5 meses)**	**Total (kg)**	**Correspondência *One Click LCA***
Código eGAR	**Quantidade (kg)**	**Quantidade (kg)**		
150101 - Embalagens de papel e cartão	160	160	320	Paper Waste
150102 - Embalagens de plástico	45	45	90	Plastic Waste
170201 - Madeira	11880	11880	23760	Wood Waste
170203 - Plástico	560	560	1120	Plastic Waste
170405 - Ferro e aço	13620	13620	27240	Steel Waste
170604 - Materiais de isolamento não abrangidos em 170601 e 170603	955	955	1910	Gypsum Waste
170904 - Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 170901, 170902 e 170903	3440	3440	6880	Inert waste landfilling
200301 - Misturas de resíduos urbanos equiparados	120	120	240	Mixed Waste
Total	**30780**		**61560**	

No Capítulo 4 mencionou-se que uma alternativa para calcular os resíduos produzidos em fase de pré-dimensionamento consiste em consultar a quantidade média de resíduos da empresa executante e, ainda, analisar a percentagem associada a cada tipo de resíduo. A Tabela 16 e a Tabela 17 apresentam justamente os valores médios da empresa de acolhimento. Neste capítulo, expõem-se os resultados para a obra da unidade industrial em análise, através da Tabela 44 e da Tabela 45.

Tabela 44 - Média de resíduos produzidos na obra caso de estudo

Tipologia	**Intervenção**	**Média [kg/100 m^2]**
Industrial	Construção	1207,8

Comparativamente com o valor médio geral da empresa executante, constata-se que a obra em estudo produziu, em média, metade dos resíduos.

Tabela 45 - Distribuição do tipo de resíduos na obra caso de estudo

Código eGAR	Percentagem
150101 - Embalagens de papel e cartão	0,13%
150102 - Embalagens de plástico	0,04%
150103 - Embalagens de madeira	0%
150105 - Embalagens compósitas	0%
170101 - Betão	0%
170103 - Ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos	0%
170107 - Misturas de betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos, não abrangidas em 170106	74,52%
170201 - Madeira	9,84%
170202 - Vidro	0%
170203 - Plástico	0,46%
170402 - Alumínio	0%
170405 - Ferro e Aço	11,28%
170407 - Mistura de metais	0%
170604 - Materiais de isolamento não abrangidos em 17 06 01 e 17 06 03	0,79%
170802 - Materiais de construção à base de gesso não abrangidos em 17 08 01	0%
170904 - Misturas de resíduos de construção e demolição não abrangidos em 170901, 170902 e 170903	2,95%
Total Geral	100%

Existe alguma discrepância entre os valores das eGAR's da unidade industrial e os valores gerais da empresa de acolhimento, dada a variedade de tipologia de obras que a empresa realiza. No entanto, em fase de pré-dimensionamento, é possível obter uma estimativa bastante razoável e naturalmente um valor conservador.

Relativamente à etapa das viagens adicionais, designada pela plataforma como *Additional trips for the transport to the construction site*, esta distingue os dois tipos de finalidade abordados no Capítulo 4, nomeadamente Entrega de Equipamento e Visita/ Reunião, como mostra a Figura 71. Tal como mencionado, o peso de 70 kg está associado à finalidade Visita/ Reunião, arbitrando esse valor como sendo o peso médio de uma pessoa. Por outro lado, os 1000 kg correspondem ao peso médio de equipamento. O valor utilizado para a distância percorrida (62,6 km) é obtido através do cálculo descrito no ponto 4.2.4.5 e tem em consideração apenas as finalidades referidas: Entrega de Equipamento e Visita/ Reunião.

Por fim, as últimas duas etapas do processo, nomeadamente "Área do Edifício" (Figura 72) e "Período de cálculo" (Figura 74), compreendem pontos que foram abordados anteriormente e cujos valores utilizados também foram apresentados.

Todavia, relembra-se o leitor que a Figura 73 apresenta a quinta etapa, onde se inserem: o valor de 20.000 m^2 correspondente à área bruta de construção; os 340 trabalhadores do empreendimento e os 253 dias úteis de funcionamento da unidade industrial. Adicionalmente, a Figura 75 evidencia o período de 60 anos que foi eleito para realizar a análise, conforme exigido pelo sistema de certificação BREEAM.

Terminado o processo que tem vindo a ser exposto, é possível obter o valor final da Pegada de Carbono produzida pela unidade industrial e identificar a classe que a mesma obtém.

A Figura 90 mostra que o edifício caso de estudo emite, no total, 203.131.742 $kgCO_2e$, ou seja, esse valor corresponde às emissões totais de dióxido de carbono equivalente associadas a todas as etapas do ciclo de vida: A1-A5, B1-B7, C1-C4 e D. O valor referido equivale a 168,28 $kgCO_2e$ por metro quadrado (20.000 m^2 no total) e por ano (considerando o período de 60 anos). Traduzindo em custo, representa cerca de 10.156.587€, dado que o *software* assume que uma tonelada de carbono custa aproximadamente 50€. Cumpre ainda referir que estes três valores da Pegada de Carbono são os necessários a indicar na certificação BREEAM.

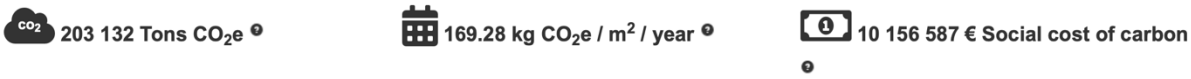


Figura 90 - Pegada de Carbono calculada pela plataforma *One Click LCA*

A plataforma fornece ainda a posição que a unidade industrial assume mediante o *Benchmark* de carbono incorporado, representado pela Figura 91. Deve ser selecionado o tipo de edifício que sofreu o estudo, uma vez que o *software* fornece várias marcas de referência mediante a tipologia em questão. A plataforma apresenta *Benchmarks* específicos para alguns países europeus como: Espanha, França, Itália, Polónia, Bélgica, Roménia, Reino Unido, Finlândia, Noruega e Suécia. Para o caso dos países que não se enquadrem nesta lista, existem ainda duas opções, nomeadamente referentes à Europa Ocidental e Europa Oriental. Tratando-se a obra caso de estudo de uma unidade industrial construída em Portugal, deve ser selecionada a opção Europa Ocidental. Dentro desta, existem ainda seis possibilidades: escritório, apartamento, educacional, armazém, retalho e hotel. Elege-se então a opção *Western Europe - warehouse*, que é a que melhor se enquadra e cuja tradução significa "Europa Ocidental - armazém".

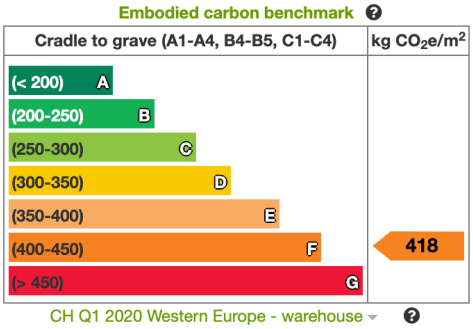


Figura 91 - *Benchmark* de carbono incorporado

Os *Benchnarks* de carbono incorporado são calculados para um período de avaliação fixo de 60 anos para todos os materiais de construção e consideram as quantidades de material e o seu transporte mediante os valores que o utilizador introduz na plataforma. Além disso, são também consideradas as substituições de materiais necessárias durante o período de avaliação do edifício, bem como no final do ciclo de vida. Os impactes são sempre calculados com base na área bruta (em metros quadrados) e não incluem, por exemplo, os impactes de reciclagem.

Note-se ainda que o *Benchmark* fornecido pela *One Click LCA* diz respeito a uma análise *cradle-to-grave* ("do berço ao túmulo") e tem em consideração as etapas A1-A4, B4-B5 e C1-C4, todas explicadas na introdução do Capítulo 4. Estas etapas permitem concluir que os resultados apresentados estão relacionados apenas com o edifício propriamente dito. Ou seja, as emissões associadas ao uso de recursos e energia durante a fase de serviço no processo produtivo, não são tidas em consideração, mais precisamente as etapas B6 e B7. Para além dessas, as etapas B1 (utilização), B2 (manutenção) e B3 (reparação) também não são tidas em conta na análise. A exclusão destas etapas no *Benchmark* permite comparar edifícios de tipologia similar sem ter em consideração a sua utilização. Este facto é importante uma vez que existe, na área de engenharia civil, alguma dificuldade em separar, na fase de utilização do edifício, quais são os consumos associados ao edifício e os associados ao processo industrial que funciona dentro deste.

Em conclusão, observa-se que no *Benchmark* selecionado, a unidade industrial atinge a Classe F com um valor de 418 $kgCO_2e/m^2$.

Considera-se relevante visualizar também o peso associado a cada categoria na realização da análise. A Figura 92 permite compreender que a produção de todos os materiais utilizados na construção do edifício (A1-A3) é o que mais influencia a quantidade de carbono produzida, cerca de 73%, pelo que deve haver um maior cuidado na escolha e seleção dos materiais a utilizar. Por outro lado, depreende-se que o transporte dos materiais (A4) tem uma influência praticamente nula na análise, representando apenas 1%. A nível de valor intermédio, sobressaem os 23% associados às substituições (B4) e renovações (B5) necessárias a efetuar durante o período de vida do edifício. Por fim, a percentagem 3% está associada aos módulos C1-C4, que traduzem a utilização de equipamentos e máquinas para a desconstrução do edifício, triagem dos materiais e transporte dos materiais resultantes a vazadouro.

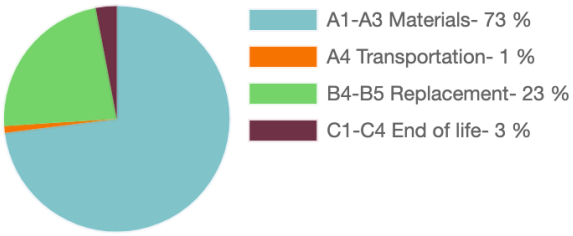


Figura 92 - Percentagem de carbono incorporado por etapa do Ciclo de Vida

5.3. Análise de Sensibilidade

Ao longo do presente capítulo, apresentaram-se os valores finais obtidos para a Pegada de Carbono calculada através do Método Expedito, no ponto 5.2.1 (532 $kgCO_2eq/m^2$), e através do Método Detalhado que recorre à plataforma *One Click LCA*, no ponto 5.2.3 (418 $kgCO_2e/m^2$). Compreende-se que ambos se encontram relativamente próximos, com uma diferença de 113 $kgCO_2eq/m^2$, cerca de -21%. Não seria expectável obter uma diferença muito menor pois o primeiro é mais expedito e por isso com as limitações próprias que foram explicadas ao longo da exposição da metodologia, e o segundo é realizado através de um *software* reconhecido internacionalmente, cujo método foi devidamente apurado, sofrendo várias alterações até à sua versão final.

Por outro lado, para realizar uma comparação estruturada entre a dispersão dos resultados dos dois métodos, introduzida pelas diferentes opções na escolha dos materiais, é prudente recorrer a mais do que apenas um único valor. Só deste modo é possível retirar conclusões significativas acerca da aplicabilidade de ambos e compreender as suas oscilações. Sendo assim, a análise de sensibilidade pretende estudar em que intervalo os dois métodos podem oscilar com a utilização de três cenários distintos relativamente à escolha e equivalência dos materiais: um "favorável", outro "ponderado" e, por fim, um "desfavorável".

Em suma, os próximos pontos 5.3.1 e 5.3.2 apresentam, respetivamente, as três hipóteses para o Método Expedito e para o Método Detalhado (plataforma *One Click LCA*), indicando as considerações efetuadas e as principais alterações realizadas.

5.3.1. Método Expedito

Para avaliar a variabilidade da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono, mediante os coeficientes de carbono selecionados, realizam-se duas análises, utilizando dois cenários distintos. Por um lado, recorrendo aos valores mínimos dos coeficientes de carbono disponíveis na base de dados ICE e, por outro, utilizando os valores máximos, retirados da mesma fonte. Obtêm-se

três valores da Pegada de Carbono: o cenário "favorável", o "desfavorável" e o cenário "ponderado", que foi o utilizado para obter a estimativa efetuada no Capítulo 4.

Considera-se relevante explicar a proveniência e as considerações efetuadas na seleção dos coeficientes de carbono mínimos e máximos, para cada tipo de material. As unidades de todos os valores apresentados são expressas em $kgCO_2eq/kg$.

- ***Animal fiber or skin, cellulose fiber*:** Como explicado anteriormente, utilizam-se os valores da secção *Carpet* e como mínimo elege-se o valor 1,65. Apesar de não ser o menor constante na base de dados, opta-se por esse valor uma vez que o valor 0,97 (menor dessa secção) corresponde à utilização de carpete de juta, que é muito pouco comum em edifícios industriais. Por outro lado, o valor de 19,7 é o máximo disponível e está associado a ladrilhos de carpete.
- ***Clay based*:** Menciona-se no ponto 4.2.4.3 que, para este tipo de material, se recorre à secção *Ceramics*. No entanto, para a análise dos cenários mínimos e máximos recorre-se tanto a essa secção como à de *Clay*, na medida em que os itens do MTQ identificados por essa classificação, se enquadram nas duas categorias. Para o valor mínimo utiliza-se o coeficiente 0,24 (*Clay*), que é o menor entre as duas secções, e para o máximo recorre-se ao valor 1,61 (*Ceramics*), por ser o maior valor presente.
- ***Concrete or cementitious*:** Dentro da secção *Concrete* existe uma grande diversidade de valores. Para realizar esta análise de forma criteriosa, decide-se recorrer a valores mínimos e máximos que sejam aplicáveis ao caso de estudo. Ou seja, como mínimo recorre-se ao coeficiente 0,113, por se tratar de um betão com uma classe C25/30, utilizada para betão de limpeza na obra caso de estudo. Por outro lado, como valor máximo elege-se o coeficiente 0,242, que é efetivamente o maior valor da tabela e corresponde a betão pré-fabricado com a classe C40/50, utilizado para os pilares e vigas da unidade industrial.
- ***Glass*:** A secção *Glass* apresenta apenas três valores. Sendo assim, seleciona-se o valor 0,59 por ser o mínimo constante e novamente o valor 1,35, já utilizado no Capítulo 4, uma vez que é o máximo que está presente na base de dados.
- ***Gypsum*:** Para este caso, utiliza-se a secção *Plaster* e esta apenas contém dois valores, um mínimo (0,13) e um máximo (0,39), logo os valores utilizados nesta análise são justamente esses. Acrescente-se que o mínimo está designado como *General (gypsum)*, ou seja, gesso genérico, e o máximo como *Plasterboard*, ou seja, placa de gesso.
- ***Metal*:** Explica-se no ponto 4.2.4.3 que para esta classificação se recorre aos valores da secção *Steel*. Para se realizar uma análise coerente, os coeficientes mínimos e máximos também são retirados dessa secção, ou seja, não se utilizam outros tipos de metais, ainda que se obtivessem valores mais reduzidos e/ou mais elevados. Refere-se ainda naquele ponto que o valor utilizado inicialmente pertence à subsecção *Other Steel Data - World Average*. No entanto, para a análise de sensibilidade, considera-se mais prudente recorrer a coeficientes da subseção *UK Steel Data* por apresentar uma maior gama de valores, tanto mínimos como máximos. Deste modo, o valor 0,45 é o mínimo constante na base de dados e está associado a varões de aço reciclado. Por outro lado, o coeficiente máximo de 3,27 diz respeito a chapa de aço virgem.
- ***Other*:** Este coeficiente é arbitrado pela autora e considera-se relevante modificá-lo tanto para a análise de coeficientes mínimos como máximos. Para o mínimo utiliza-se o valor 5 e para o máximo o valor de 10. Relembra-se o leitor que a adoção de um coeficiente de 7, na primeira análise, tinha como objetivo penalizar materiais que não estivessem classificados. Intensifica-se esse valor no cenário de coeficientes máximos (aumento de 40%) e utiliza-se uma redução menos acentuada para os valores mínimos (redução de 30%), de modo que este coeficiente continue a ter um peso diferenciador.

- ***Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous*:** Explica-se no subcapítulo 4.2.4.3 o motivo de se recorrer à secção *Insulation*. Deste modo, para analisar a dispersão dos valores utiliza-se como coeficiente mínimo 0,98, associado a placas de lã de madeira, da secção mencionada. Tal é justificado uma vez que na secção *Plastics* o menor valor que aparece (1,93) é superior ao utilizado inicialmente. Relativamente ao coeficiente máximo, este é obtido através da secção *Plastics* e opta-se por recorrer ao valor 3,10, que diz respeito a tubos de PVC genéricos. Considera-se que não seria correto utilizar o valor mais elevado, 9,14, por inicialmente não se ter recorrido a esta secção e, sendo assim, usa-se um valor máximo intermédio. Além disso, o valor referido está associado a polímero de nylon que apresenta uma utilidade discutível.
- ***Stone or aggregate*:** Recorde-se que na primeira análise utiliza-se a secção *Aggregate*, porém esta apenas contém um valor, o utilizado inicialmente. Para se conseguir obter um valor mínimo e máximo recorre-se à secção *Stone* e o coeficiente com o menor valor, 0,002, está associado a xisto. Para definir o coeficiente máximo, utiliza-se o valor 0,079 cuja designação é pedra genérica. Apesar de não ser o valor mais elevado presente na base de dados, não faria sentido recorrer ao coeficiente de 0,7 associado a granito porque equivalia a realizar uma unidade industrial num terreno granítico, o que é muito pouco usual devido aos custos elevados associados.
- ***Timber or timber based*:** Para esta classificação de tipo de material recorre-se à secção *Timber*. O valor mínimo presente corresponde a 0,20, associado a madeira macia cerrada, e o coeficiente máximo tem um valor de 0,58 relativo a placas de madeira rígidas.

Em conclusão, apresentam-se a Tabela 46 e a Tabela 47 com os valores anteriormente indicados dos coeficientes mínimos e máximos utilizados, respetivamente.

Tabela 46 - Coeficientes de Carbono mínimos, por tipo de material [39]

Material	Coeficientes de Carbono ($kgCO_2eq/kg$)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	1,65
Clay based	0,24
Concrete or cementitious	0,113
Glass	0,59
Gypsum	0,13
Metal	0,45
Other	5
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	0,98
Stone or aggregate	0,002
Timber or timber based	0,20

Tabela 47 - Coeficientes de Carbono máximos, por tipo de material [39]

Material	Coeficientes de Carbono ($kgCO_2eq/kg$)
Animal fiber or skin, cellulose fiber	19,7
Clay based	1,61
Concrete or cementitious	0,242
Glass	1,35
Gypsum	0,39
Metal	3,27
Other	10
Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	3,10
Stone or aggregate	0,079
Timber or timber based	0,58

Aplicando esses coeficientes ao MTQ obtêm-se os valores do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono apresentados na Tabela 48. Note-se que para além dos valores finais obtidos, acrescentam-se as percentagens de variação do valor mínimo e máximo relativamente ao cenário ponderado.

Tabela 48 - Dispersão dos valores obtidos através do Método Expedito (Coeficientes de Carbono)

	Pegada de Carbono ($kgCO_2eq$)	**Pegada de Carbono ($kgCO_2eq/m^2$)**
Cenário Favorável (coeficientes mínimos)	5.118.779,86	255,94 (- 51,87%)
Cenário Ponderado	10.634.917,87	531,75
Cenário Desfavorável (coeficientes máximos)	17.158.868,36	857,94 (+ 61,34%)

Compreende-se que os resultados do Método Expedito apresentam variabilidade e que o método é sensível às opções sobre os coeficientes de carbono. Até certo ponto essa variabilidade pode ser explicada porque utilizando materiais da mesma secção, mas com características diferentes, é expectável obter variações na Pegada de Carbono.

Por outro lado, constata-se que os critérios dependem do autor que esteja a aplicar o método e do seu bom senso na tomada de decisões dos materiais. A dependência do utilizador é uma característica incontornável do método, pois quem aplica vai ter que optar e produzir escolhas durante a sua análise. O facto da base de dados não conter os materiais nacionais e não se ter conhecimento de quais são os mais semelhantes, prova a dependência do utilizador nas suas escolhas e motiva a autora a abordar, no Capítulo 6, a proposta de desenvolvimento de uma tabela de equivalências de materiais.

Em suma, este método apesar de, em valores absolutos, oscilar mais ou menos cerca de 50%, que é um valor considerável, considera-se que é aceitável na fase de pré-dimensionamento. Acrescente-se ainda que o método é tanto mais fiável quanto mais fiáveis forem os valores obtidos para cada tipo de material. Esses valores devem ser específicos para os materiais adotados, mas determinados segundo as mesmas regras. É esse o espírito das DAP's.

5.3.2. Método Detalhado: Plataforma *One Click LCA*

Para realizar a análise de sensibilidade na plataforma *One Click LCA*, opta-se por modificar na etapa *Building Materials*, apresentada desde a Figura 84 à Figura 89, os materiais a utilizar mantendo todo o cenário que tem vindo a ser descrito ao longo da dissertação. Deste modo, os valores finais que se obtêm, com esta análise, dizem respeito apenas à utilização de materiais mais ou menos favoráveis para a Pegada de Carbono.

Dos 68 materiais introduzidos no *software* são modificados 19, que correspondem a 62,36% do peso total da obra, aproximadamente 25.243.959 kg. Salienta-se que 36,84% da quantidade total corresponde a apenas um único item, designado como *Excavation Works, kg or m^3 removed masses (Required for IMPACT calculations)*. Como para a definição "escavação" aquela é a única opção que a plataforma fornece, esse item manteve-se para as três hipóteses de análise. Por fim, resta apenas 0,8% do peso total da obra que, como está distribuído por 48 itens distintos, não provoca alterações significativas e então não são tidos em conta no estudo.

É ainda importante referir que foram modificados bastantes elementos de betão e, para haver um critério coerente na análise, opta-se por, para o Cenário Favorável, utilizar a mesma classe de betão do Cenário

Ponderado e eleger, nessa classe, o material que apresenta a maior percentagem de reciclabilidade. Por outro lado, para o Cenário Desfavorável, elege-se a classe de betão imediatamente superior e utiliza-se sempre o material com 0% de reciclabilidade.

Relativamente aos outros elementos, utilizam-se diferentes critérios mediante as opções que são fornecidas pelo *software*. Uma alternativa usada, para realizar a análise mínima, consiste em diminuir o peso volúmico do material e, contrariamente na análise máxima, aumentá-lo. Por outro lado, modificar o país de origem do material provoca diminuições e aumentos no impacte ambiental, dependendo do que é escolhido. Acrescente-se ainda que para os painéis sandwich, aumentando a espessura o impacte ambiental diminui e vice-versa.

A Tabela 49 apresenta um excerto dos materiais selecionados, tanto para o Cenário Favorável (CF) como para o Desfavorável (CD), indicando o peso e as principais modificações efetuadas em cada um. Na descrição do material indica-se o valor de GWP, que é o equivalente aos Coeficientes de Carbono analisados no ponto anterior, porém com a nomenclatura universal. A versão integral da tabela é apresentada no Anexo 3.

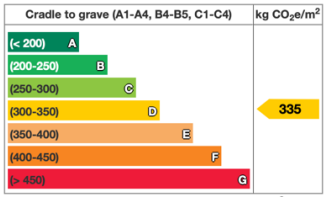
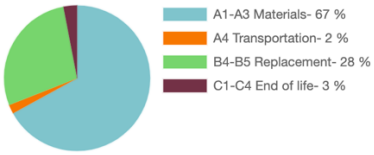
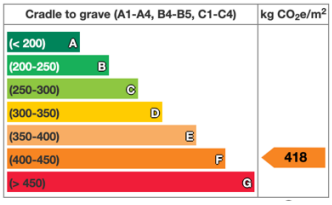
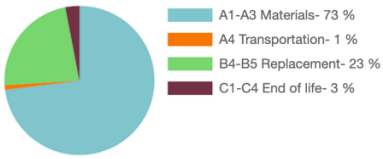
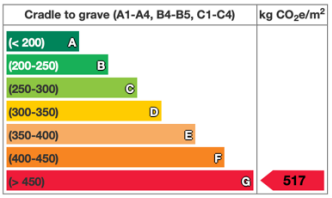
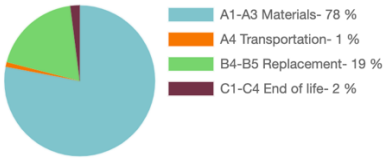
Tabela 49 - Excerto das modificações no Cenário Favorável e no Cenário Desfavorável - *One Click LCA*

Peso (kg)	Cenário Ponderado: Material Inicial	Cenário Favorável	Modificações principais (CF)	Cenário Desfavorável	Modificações principais (CD)
7929084	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30, with CEM I, 0% recycled binders (280 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,11 kgCO_2e/kg	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30 with CEM III/A, 60% GGBS content (280 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0607 kgCO_2e/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 0 para 60%).	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C28/35 with CEM I, 0% recycled binders (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,12 kgCO_2e/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
355980	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 150 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 1,31 kgCO_2e/kg	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 50 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 1,2 kgCO_2e/kg	Diminui-se o peso volúmico de 150 para 50 kg/m^3.	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 200 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 1,35 kgCO_2e/kg	Aumentou-se o peso volúmico de 150 para 200 kg/m^3.
263575	Steel hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, S235-S960 (bauforumstahl); País: UE; GWP: 1,74 kgCO_2e/kg	Hot rolled steel rails, for transport application, 7850 kg/m^3 (ArcelorMittal); País: Espanha; GWP: 3,0E-4 kgCO_2e/kg	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (EU para Espanha)	Steel hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, FI average (Ruukki); País: Finlandia; GWP: 2,71 kgCO_2e/kg	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (EU para Finlândia)
121617	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 100 mm, 4.0 kg/m^2 (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 9,15 kgCO_2e/kg	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 200 mm, 8.0 kg/m^2 (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 6,9 kgCO_2e/kg	Aumentando a espessura, o impacto ambiental diminui.	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 60 mm, 2.4 kg/m^2, (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 11,33 kgCO_2e/kg	Diminuindo a espessura, o impacto ambiental aumenta.

Terminada a modificação dos 19 materiais, tanto para o Cenário Favorável como para o Desfavorável, obtêm-se: os valores finais da Pegada de Carbono expressos em $kgCO_2e$; a classe a que cada cenário pertence, através do *Benchmark* mencionado na Figura 91 e o gráfico relativo ao carbono incorporado por etapa do Ciclo de Vida.

A Tabela 50 apresenta a dispersão dos resultados do *software One Click LCA*, mediante a utilização de três hipóteses distintas. Indica-se o resultado do cenário ponderado para relembrar o leitor do valor inicialmente obtido.

Tabela 50 - Dispersão dos valores obtidos através do Método Detalhado (plataforma *One Click LCA*)

	Pegada de Carbono ($kgCO_2e$)	**Pegada de Carbono ($kgCO_2e/m^2$)**	**Carbono incorporado por etapa de Ciclo de Vida**
Cenário Favorável (coeficientes mínimos)	201.450.828	335 (Classe D) 	
Cenário Ponderado	203.131.742	418 (Classe F) 	
Cenário Desfavorável (coeficientes máximos)	205.121.015	517 (Classe G) 	

Analisando os valores obtidos, compreende-se que a plataforma apresenta variações ao nível da Pegada de Carbono ($kgCO_2e/m^2$) na ordem dos 19%. Refere-se ainda que quanto mais desfavorável é o cenário, maior a percentagem associada à etapa A1-A3 *Materials* e vice-versa.

5.3.3. Síntese da Análise de Sensibilidade

Na introdução da Análise de Sensibilidade, menciona-se que entre o Método Expedito e o Método Detalhado existe apenas uma diferença de aproximadamente -21%, diferença essa associada ao Cenário Ponderado, o utilizado para avaliar a Pegada de Carbono na obra caso de estudo. Afirma-se ainda que para realizar uma comparação estruturada entre a dispersão dos resultados nos dois métodos, introduzida pela variabilidade na escolha dos materiais, é prudente recorrer a mais do que um único valor. Nesse

sentido, os pontos anteriores, 5.3.1 e 5.3.2, apresentaram, respetivamente, a dispersão dos resultados do Método Expedito e do Método Detalhado, com a utilização dos três cenários distintos.

No Método Expedito é possível alterar os dez coeficientes de carbono associados aos dez tipos de material considerados inicialmente. Nos três cenários recorre-se sempre à base de dados ICE para haver coerência na análise. Tanto o Cenário Favorável como o Desfavorável utilizam igualmente valores que digam respeito a materiais da obra caso de estudo, no entanto não seriam os escolhidos para realizar a análise ponderada visto que ocorrem em menor quantidade.

No Método Detalho, recorrendo à plataforma *One Click LCA*, alteram-se 19 materiais que representam cerca de 62% do peso global da obra. Os materiais selecionados para os cenários complementares consistem em produtos que poderiam ter sido opções para a obra caso de estudo. Porém, ou por determinados motivos a nível de projeto não o foram, ou assumem menor representatividade e, sendo assim, não foram selecionados para o Cenário Ponderado. Os critérios para a alteração dos diferentes tipos de materiais mantêm-se coerentes para as duas hipóteses. É importante referir ainda que a plataforma *One Click LCA* recorre a DAP's para fornecer os valores de GWP, expressos em $kgCO_2e/kg$.

De acordo com a informação disponível, as tabelas e as plataformas não fornecem dados para o mesmo período de vida útil, ou seja, os ciclos de vida não são coincidentes. A base de dados ICE, utilizada para determinar os coeficientes de carbono, fornece os valores para uma análise *cradle-to-gate* ("do berço ao portão"). Por outro lado, o *Benchmark* da plataforma *One Click LCA* recorre à análise *cradle-to-grave* ("do berço ao túmulo"). A análise *cradle-to-gate* compreende as etapas A1-A3, enquanto a análise *cradle-to-grave* considera as etapas A1-A4, B4-B5 e C1-C4. A Tabela 50 apresenta, na coluna "Carbono incorporado por Ciclo de Vida", a percentagem de carbono atribuída a cada etapa, o que permite constatar que as fases A1-A3 são as que assumem uma maior importância, oscilando entre 67% e 78% mediante o cenário utilizado. Deste modo, compreende-se que, apesar da base de dados ICE utilizar um período de vida útil distinto do da plataforma, as etapas de Ciclo de Vida consideradas na base de dados correspondem às mais influentes na análise.

De facto, a comparação entre os resultados dos dois métodos é uma comparação aproximada, uma vez que ambos têm por base fronteiras e pressupostos diferentes e, consequentemente, os parâmetros possíveis de alterar em cada um também são distintos. A estratégia utilizada é a mesma, no entanto é adaptada ao método em questão. A comparação direta entre o Cenário Ponderado dos dois métodos é coerente, porque ambos são utilizados com o objetivo de selecionar o material mais semelhante e que melhor se enquadra à obra caso de estudo. Todavia, recorrendo ao exemplo das placas de gesso cartonado, verifica-se que para o Método Expedito a base de dados ICE apenas fornece dois valores, enquanto a plataforma permite modificar a espessura da placa, o seu peso volúmico e ainda a sua origem (país). Compreende-se que em cada método têm de ser considerados diferentes parâmetros a variar.

Em suma, a seleção de parâmetros diferentes para os dois métodos é inevitável devido às condições de cada um. Todavia, independentemente desse fator, a estratégia manteve-se coerente e considera-se relevante apresentar a comparação final entre a dispersão dos resultados dos dois métodos, introduzida pela variabilidade na escolha dos materiais.

O recurso às três hipóteses permite compreender que a dispersão dos resultados dos dois métodos é efetivamente superior à diferença de -21% referida, e que o Método Expedito apresenta uma variabilidade mais acentuada do que o Método Detalhado. Na verdade, relativamente aos valores máximos, existe uma diferença de +66% entre o Método Detalhado e o Expedito. Por outro lado, no que diz respeito aos valores mínimos essa diferença corresponde a aproximadamente -24%.

Deste modo, compreende-se que a dispersão de resultados obtidos pelo Método Detalhado é um subconjunto do Método Expedito, o que significa que os valores fornecidos pela plataforma são menos dispersos do que os obtidos através do cálculo expedito. Esta situação era expectável visto que um método expedito deve sempre conduzir a resultados conservadores. Tal como referido anteriormente, o Método Expedito permite realizar uma análise em fase de pré-dimensionamento com um valor final da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono bastante razoável, no entanto a precisão dos seus resultados depende do utilizador e dos critérios seguidos.

Em conclusão, a Figura 93 apresenta o intervalo de valores dos dois métodos. O Método Expedito está representado através do tracejado vermelho e cujos valores se encontram na parte de cima da figura. Por outro lado, a tracejado verde encontra-se o intervalo dos resultados obtidos pelo Método Detalhado, utilizando a plataforma *One Click LCA*, e os seus valores com a cor obtida no *Benchmark*.

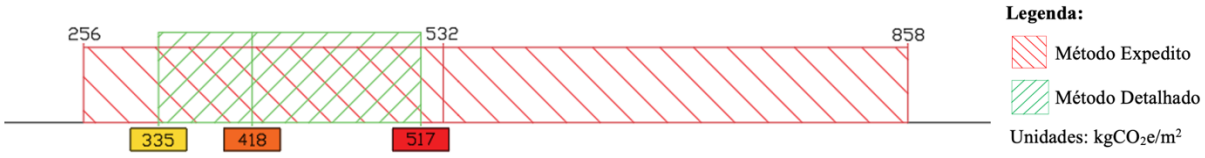


Figura 93 - Dispersão dos resultados do Método Expedito e do Método Detalhado

6
SÍNTESE E CONCLUSÕES

6.1. SÍNTESE

O presente subcapítulo pretende sintetizar os conceitos e as conclusões a reter dos cinco capítulos anteriores.

No Capítulo 1, destaca-se como objetivo principal desta dissertação desenvolver um estudo de ACV de um edifício industrial na perspetiva da certificação BREEAM. Para tal utilizaram-se dois métodos: um Método Expedito e um Método Detalhado que recorre a uma plataforma internacional reconhecida pelo BRE. Identifica-se ainda uma outra intenção que consiste em realizar uma análise de sensibilidade que permite efetuar a comparação entre os resultados do Método Expedito e do Detalhado, compreendendo a dispersão do resultado de cada método tendo em atenção diferentes cenários nos aspetos optativos de cada um. Os objetivos enunciados surgem da problemática identificada, nomeadamente a falta de clareza e de métodos para avaliar a Pegada de Carbono em obras de engenharia civil, quer por não retratarem a realidade nacional, quer por necessitarem de bom senso do respetivo autor, no caso de se recorrer a métodos expeditos. Em conclusão, verifica-se que este problema é efetivamente importante e é motivo para a presente dissertação.

No Capítulo 2, realiza-se a revisão da bibliografia sobre a problemática referida, comprovando-se que são inúmeros os autores que abordam desde os conceitos simples de sustentabilidade até aos mais complexos, tais como efetuar a ACV na construção. Encontram-se diferentes linhas de pensamento que, por vezes, divergem significativamente, dada a heterogeneidade do tema.

O Capítulo 3 apresenta a empresa de acolhimento e a obra caso de estudo. A Garcia Garcia é uma empresa organizada, com estrutura diferenciada ao nível da gestão da qualidade e com fortes princípios de sustentabilidade implementados. É experimentada na construção de obras com a categoria industrial, o que transmite bastante credibilidade ao caso de estudo utilizado para a aplicação prática da metodologia. Sendo assim, através da obra de uma unidade industrial localizada em Santo Tirso, é possível aplicar os dois métodos mencionados.

O Capítulo 4 propõe uma metodologia estruturada para calcular a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono através de um Método Expedito, original desta dissertação e, ainda, uma forma organizada para conseguir avaliar a Pegada de Carbono através da plataforma *One Click LCA* (Método Detalhado). A metodologia compreende três fases, sendo a primeira para o Método Expedito e a segunda e terceira fases para o Método Detalhado.

A primeira fase consiste em organizar as informações provenientes do MTQ, classificando cada item mediante o seu tipo de material, com recurso à nomenclatura do Manual BREEAM. Seguidamente, convertem-se as unidades de expressão de cada item do MTQ para quilograma, essencialmente através

de FT's de produto. Por outro lado, elege-se a base de dados a utilizar, para corresponder a cada tipo de material um determinado coeficiente de carbono, expresso em $kgCO_2eq/kg$. Com o ficheiro do MTQ devidamente programado, obtém-se o valor final da estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono do edifício que, se dividido pela sua área de construção, vem expresso em $kgCO_2eq/m^2$.

Para utilizar a plataforma *One Click LCA* é necessário submeter um ficheiro Excel específico e devidamente organizado. Este deve conter: uma definição genérica do material; o seu peso em quilograma; a quantidade de quilómetros percorridos no seu transporte; a respetiva *BREEAM International Classification* e a *IFC Class* correspondente. Quanto à segunda fase, esta é justamente a demonstração de como selecionar e organizar as diferentes informações e classificações necessárias, de modo a tornar o processo eficaz e intuitivo, uma vez que o mesmo não apresenta qualquer tipo de sugestão de procedimento.

Por fim, a última fase explica como utilizar o *software* e interpretar as etapas que o mesmo exige. Após importar o ficheiro mencionado, são seis as principais etapas a realizar para obter o valor da Pegada de Carbono do edifício. Estas etapas exigem certos dados do projeto, como os consumos de energia e de água, e ainda valores referentes às operações de estaleiro.

No penúltimo capítulo comprova-se que é possível aplicar a metodologia proposta a um caso prático de uma unidade industrial e obter resultados fidedignos. Refere-se ainda que a Figura 94, reproduzida do Capítulo 5, ilustra de forma clara o conceito e a principal conclusão do trabalho efetuado.

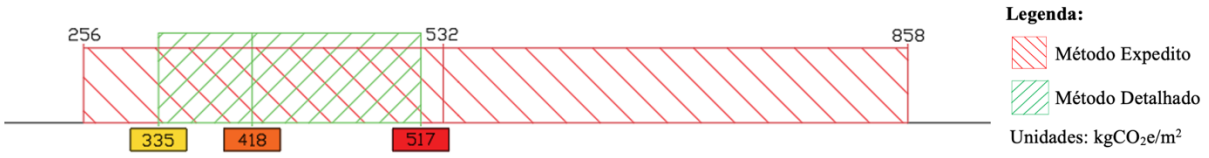


Figura 94 - Conclusão do trabalho efetuado

A Figura 94 traduz que, utilizando o Método Expedito e o Detalhado, os valores obtidos através do Cenário Ponderado encontram-se relativamente próximos, pelo que se recomenda em fase de pré-dimensionamento recorrer ao primeiro. No entanto, deve existir um determinado cuidado com a sua aplicação, visto que há uma certa dispersão associada ao bom senso do utilizador nas escolhas dos materiais. Por outro lado, o Método Detalhado apresenta uma menor dispersão.

6.2. CONCLUSÃO

A presente dissertação enuncia, na sua introdução, que pretende desenvolver um estudo de ACV de um edifício industrial na perspetiva da certificação BREEAM através de duas vertentes, nomeadamente de um Método Expedito e de um Método Detalhado que recorre a um *software* internacional reconhecido pelo BRE. Ambos têm como finalidade fornecer o valor da Pegada de Carbono de uma obra de engenharia civil.

No entanto, o primeiro distingue-se por consistir numa proposta original da autora, tendo como principais características a facilidade de utilização e validade do resultado, e o segundo por ser exigido para a obra caso de estudo ser certificada pelo BREEAM. Apesar do Método Detalhado ser calculado através de uma plataforma, é igualmente necessário ter conhecimento de como introduzir os dados, saber como a utilizar e, ainda, interpretar os seus resultados.

Deste modo, após uma revisão bibliográfica profunda, conclui-se que é possível propor uma metodologia de forma estruturada e organizada. A Figura 95 apresenta o fluxograma que, de forma esquemática, reproduz as etapas exigidas pela metodologia proposta. A metodologia é divida em três fases, sendo a primeira relativa ao Método Expedito e permite obter a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono. As restantes fases correspondem ao que se designa por Método Detalhado e este permite utilizar a plataforma *One Click LCA*.

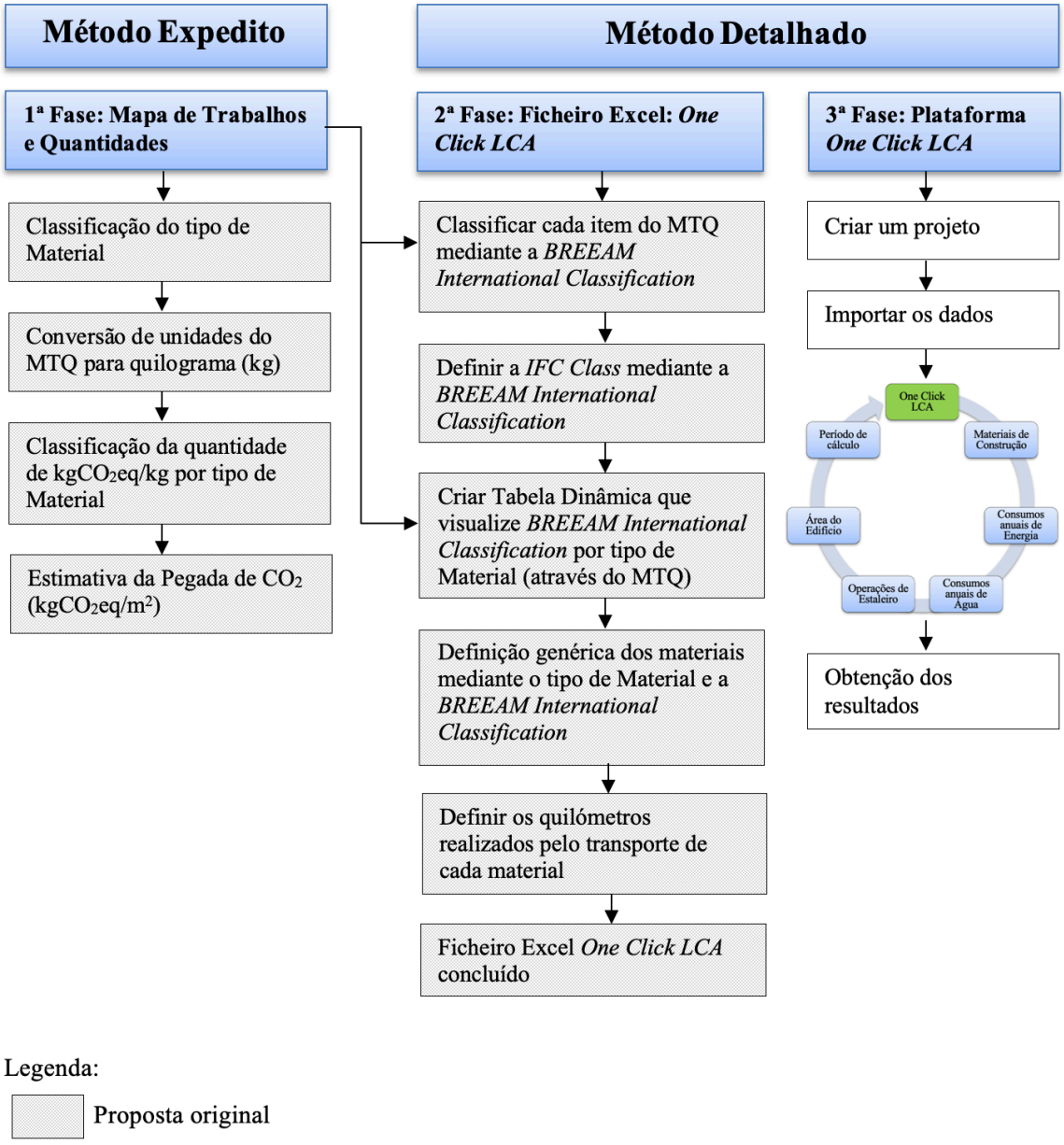


Figura 95 - Metodologia proposta

Em conclusão, os objetivos definidos são concretizados na medida em que se consegue realizar uma metodologia estruturada para avaliar a Pegada de Carbono numa obra de engenharia civil. Além disso, realiza-se uma análise de sensibilidade que permite comparar os resultados dos métodos propostos, de forma criteriosa, concluindo que com a utilização de Cenários Ponderados obtêm-se resultados bastante próximos.

6.3. PROPOSTAS DE MELHORIA E DESENVOLVIMENTO FUTURO

6.3.1. PROPOSTAS DE MELHORIA

Relembra-se o leitor que no Capítulo 4 são introduzidas propostas de melhoria para a metodologia, das quais se destacam a introdução de mais materiais na tabela que permite realizar a classificação do tipo de material (Tabela 2) e a colocação de uma coluna no MTQ destinada a indicar o fornecedor de cada produto de construção. Acrescente-se que o detalhe de ambas pode ser analisado no capítulo referido.

No que diz respeito à primeira proposta, refere-se que as principais alterações sugeridas estão relacionadas com dois tipos de material: o betão e o metal. Sendo assim, introduzem-se as três classes de betão predominantes numa obra (C25/30, C30/37 e C40/50) mantendo a opção inicial, para os casos que não se incluam nestas opções. Por outo lado, para a classificação *Metal* acrescentam-se os cinco tipos de metais mais predominantes na construção: aço, alumínio, cobre, zinco e latão. Em suma, o facto de se estar a aumentar a classificação do tipo de material, obriga a aumentar o número de coeficientes de carbono a adotar e, dessa forma, o resultado obtido é mais preciso do que o inicialmente calculado. A Tabela 18 apresenta de forma clara o acréscimo dos materiais referidos.

Relativamente à segunda proposta, esta surge da exigência de colocar na plataforma *One Click LCA* o número de quilómetros percorridos pelo transporte de cada material. A medida adotada, para o caso de estudo, passou por pedir à portaria da obra que registasse a chegada de todos os transportes, indicando a data, a sua finalidade e a empresa responsável. Este processo consome bastantes recursos a nível de tempo, pois é necessário tratar a informação dos inúmeros formulários preenchidos até que se obtenha um ficheiro organizado, que permita calcular a média ponderada de quilómetros realizados no transporte de materiais e de equipamentos para a obra. Mesmo após este procedimento, o valor que se obtém é uma média para todos os materiais, isto porque se torna inviável, para a portaria, registar todos os produtos presentes num determinado transporte.

Sendo assim, uma medida para otimizar este processo e melhorar o resultado obtido passa por, na realização do MTQ, acrescentar uma coluna destinada à identificação da empresa que fornece esse produto. Seguidamente, colocando uma lista final com todas as empresas intervenientes e a sua respetiva morada consegue-se, através de duas fórmulas de Excel, nomeadamente "Índice" e "Corresponde", obter o valor de quilómetros percorridos no transporte de cada item do MTQ. Caso se pretenda efetuar a média, o valor desta é mais preciso que o calculado inicialmente.

Atente-se que uma das principais dificuldades encontradas ao realizar este processo é a organização das FT's dos produtos, nomeadamente por grande parte das vezes não constarem nestas informações relativas ao peso do material ou ao seu consumo. Por este motivo, considera-se que a norma que institui as características de informações das FT's deva obrigar e/ou incentivar as mesmas a conter todas as informações relacionadas com o consumo do produto ou o seu peso. Caso tal suceda, o processo de converter os itens do MTQ para a unidade quilograma torna-se mais eficaz e intuitivo e, consequentemente, incentiva uma maior quantidade de utilizadores a realizar a estimativa do contributo dos materiais de construção para a Pegada de Carbono da sua obra.

Na plataforma *One Click LCA* é possível utilizar elementos de betão nacionais cuja percentagem de reciclabilidade varia entre 0 e 60%, ou seja, para cada classe de betão existem sete tipos de percentagem de reciclabilidade: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60%. No entanto, apesar do *software* fornecer estas opções, se o utilizador não tiver conhecimento do valor exato do seu produto, esta ferramenta perde significativamente a sua vantagem. Os produtores não fornecem este tipo informação ou, por vezes, nem têm conhecimento da mesma, o que dificulta substancialmente realizar uma análise em que se pretende determinar a Pegada de Carbono associada aos materiais. Pretende-se com este parágrafo salientar a

importância e o desenvolvimento que deve ser feito, no sentido das FT's dos produtos conterem informações relevantes acerca da percentagem de reciclabilidade dos mesmos.

Ao longo da dissertação, é enunciado o problema proveniente do facto das plataformas internacionais não conterem, na sua maioria, produtos nacionais. No caso do *software One Click LCA*, este apenas aceita produtos que possuam uma DAP. Verifica-se que, em Portugal, ainda é bastante reduzido o número de produtos reconhecidos através dessa declaração. Assim, a primeira etapa passa por haver incentivos, por parte das associações dos materiais de construção e dos fabricantes, fornecendo linhas orientadoras para os produtores conseguirem que os seus materiais sejam identificados com uma DAP. Por outro lado, tendo em conta que este é um processo moroso menciona-se, no Capítulo 4, que é necessário tomar determinadas considerações para fazer corresponder um produto nacional a outro disponível no *software*. Sendo assim, uma proposta interessante passa por desenvolver uma tabela de equivalências entre os produtos disponíveis na plataforma e os nacionais. Esta matriz deve envolver as várias especialidades e ainda um estudo aprofundado acerca das características dos materiais do *software* e dos nacionais, de modo que a sua correspondência seja o mais precisa possível.

6.3.2. Desenvolvimento Futuro

Recomenda-se que, pela sua importância, deve haver continuidade no progresso e na investigação do tema. O desenvolvimento futuro que se considera mais relevante consiste em analisar, de forma aprofundada, a dispersão dos resultados na utilização do Cenário Ponderado nos dois métodos enunciados.

Acredita-se que se uma centena de utilizadores, ou outro número estatisticamente aceitável, realizar, para a mesma obra, a ACV através do Método Expedito e do Método Detalhado recorrendo à plataforma *One Click LCA*, é possível obter um conjunto interessante de valores. Tendo em conta que o Cenário Ponderado do Método Expedito está dependente do bom senso do utilizador na escolha dos coeficientes de carbono a adotar, é relevante entender se vários profissionais da área o aplicarem, se obtêm valores relativamente concentrados ou, por outro lado, dispersos. Apesar dos resultados fornecidos pelo *software* estarem mais centralizados, compreende-se que diferentes utilizadores atingem valores distintos.

Deste modo, adquire-se o mesmo número de resultados para o Cenário Ponderado, tanto para o Método Expedito como para o Detalhado. Esses mesmos valores permitem realizar um histograma para cada um dos métodos e, consequentemente, definir a curva estatística que lhe está associada. Sendo assim, a curva estatística do respetivo método compreende desde os valores mínimos aos máximos obtidos. É possível visualizar, para cada valor, no eixo dos x da curva, a probabilidade do mesmo ocorrer que corresponde à área que lhe está subjacente. Obter esta distribuição é muito importante para se perceber o comportamento de cada método, nomeadamente se a probabilidade de diferentes valores ocorrerem é muito semelhante ou, se a maioria dos utilizadores obtêm resultados muito próximos.

Considera-se que o mais provável é a curva do Método Expedito ser mais aberta e mais achatada e, por outro lado, a curva do Método Detalhado ser mais concentrada, ou seja, mais fina e alta. Isto porque a dispersão dos resultados do Método Expedito é bastante superior comparativamente aos obtidos pelo *software*.

Em conclusão, apesar das curvas estatísticas permitirem avaliar a dispersão de cada método com a utilização do Cenário Ponderado, deve-se realizar a intersecção das mesmas. A intersecção das duas curvas é representada por uma determinada área percentual que traduz a quantidade de situações, em percentagem, onde utilizando o Método Expedito e o Método Detalhado se obtêm valores iguais. Essa

área define a probabilidade dos dois métodos fornecerem o mesmo valor. Com esse dado é possível verificar a utilidade do Método Expedito, nomeadamente a possibilidade de substituir o uso da plataforma nos casos em que a mesma não é exigida. Além disso, a probabilidade referida permite concluir acerca da semelhança entre os dois métodos e ainda perceber se são necessárias mais ou menos alterações para apurar o Método Expedito.

A Figura 96 apresenta, de forma aproximada, as curvas estatísticas que se consideram expectáveis obter, após um número representativo de utilizadores aplicarem ambos os métodos para calcular a Pegada de Carbono para o mesmo edifício. Deste modo, consegue-se interpretar se na realidade os dois métodos têm uma área comum de confiança, uma vez que a área assinalada representa a probabilidade dos dois métodos fornecerem o mesmo resultado.

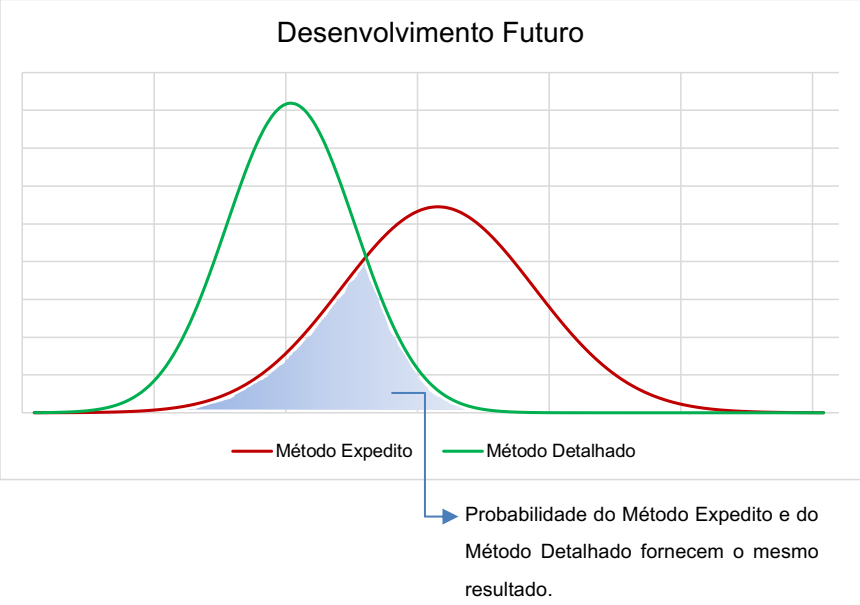


Figura 96 - Desenvolvimento Futuro

Compete ainda referir que a análise da dispersão de cada método possibilitará definir um determinado coeficiente ou fator multiplicativo que permite aproximar o valor obtido pelo Método Expedito ao do Método Detalhado, como se exemplifica:

$$Resultado\ do\ Método\ Expedito \times\ k \cong Resultado\ do\ Método\ Detalhado$$

Em síntese, se o utilizador recorrer ao Método Expedito para calcular a Pegada de Carbono e multiplicar o valor obtido pela constante k identificada, consegue que o resultado final, ainda que expedito, se aproxime significativamente de um valor calculado através do Método Detalhado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRE Global Limited. *BREEAM International New Construction 2016, Technical Manual SD233 2.0*. Watford, 2016.

[2] Singh, S. *Big Bang*. Editora Record, Rio de Janeiro, 2006.

[3] Torgal, F., Jalali, S. *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho, 2010.

[4] Bellen, H. *Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação*. Ambiente & Sociedade, 06/2004, p. 67-88, Secretaria Editorial da Revista Ambiente & Sociedade.

[5] Agostinho, F., Ortega, E., Romeiro, A. *Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países*. Ambiente & Sociedade, 28/08/2007, p. 137-148, ANPPAS, Brasil.

[6] Sachs, I. *Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas: Los casos de India y Brasil*. AECID, Madrid, 1990.

[7] Open Data Plataform Global Footprint Network (URL: https://data.footprintnetwork.org/#/). Acedido em Outubro 2020.

[8] Mateus, R., Bragança, L. *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Edições Ecopy, Ermesinde, 2006.

[9] Kibert, C. *Sustainable construction: Green Building Design and Delivery*. Wiley - VCH, 2005.

[10] Mateus, R., Amoêda, R., Guedes, M. *Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices - Challenge of Industry for the New Millennium*. IOS Press, 2007.

[11] Pinheiro, M. *Ambiente e Construção Sustentável*. Agência Portuguesa do Ambiente, 2006.

[12] Ciambrone, D. *Environmental Life Cycle Analysis*. CRC Press, Boca Raton, 1997.

[13] Guinée, J., et al. *Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future*. Environmental Science and Technology, 2011.

[14] Klöpffer, W., Grahl, B. *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Wiley - VCH, 2014.

[15] Rodríguez, J. *Life Cycle Assessment of Wood-Based Ethanol-Diesel Blends (E-Diesel)*. Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology, 2003.

[16] Scientific Applications International Corporation. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. US Environmental Protection Agency, 05/2006, Cincinnati.

[17] R IPQ, NP EN ISO 14044:2010. *Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação*. 2010.

[18] Mateus, R., Bragança, L. *Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação a sustentabilidade de soluções construtivas*. Ordem dos Engenheiros, Leça da Palmeira, 2004.

[19] Barbosa, M., Almeida, M., Castañon, J. *Ambiente Construído e Estratégias Sustentáveis*. UFJF, 2019

[20] LiderA - Sistema de avaliação da sustentabilidade (URL: http://www.lidera.info). Acedido em Outubro 2020.

[21] Bragança, L. *SBTOOL URBAN: Instrumento para a promoção da sustentabilidade urbana*. Data 27-10-2017. (URL: http://civil.uminho.pt/urbenere/wp-content/uploads/2018/05/E28-SINGEURB-2017.pdf). Acedido em Outubro 2020.

[22] Lockie, S., Berebecki, P. *Methodology to calculate embodied carbon of materials*. RICS, 07/2012, Park Communications, Londres.

[23] Faithful Gould (URL: https://www.fgould.com/uk-europe/articles/embodied-carbon-guidelines/). Acedido em Outubro 2020.

[24] Ramalho, T. *Proposta de um Método de Avaliação da Sustentabilidade na Construção Pré-fabricada*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2017.

[25] Pires, A. *Modelos de Certificação da Sustentabilidade dos Edifícios: Análise Comparativa dos Processos de Certificação*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, 2017.

[26] Rodrigues, V. *Avaliação do Ciclo de Vida de uma Unidade Industrial: uma avaliação da pegada de carbono e da intensidade energética da obra*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.

[27] Ferraz, E. *Análise de Ciclo de Vida de Materiais Construtivos: Contributo para a Certificação de Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019.

[28] Rodrigues, D. *A Sustentabilidade na Reabilitação de Edifícios: Estudo de Casos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.

[29] Subida, J. *Metodologias de Avaliação da Sustentabilidade Aplicadas a Intervenções de Reabilitação: Casos de Estudo*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.

[30] Design & Build - Garcia, Garcia (URL: https://www.garcia.pt/pt/). Acedido em Outubro 2020.

[31] Engenheiro Diretor de Obra. *Plano de trabalhos da Obra Caso de Estudo*. Abril de 2020.

[32] Equipa de Projeto. *Planta e Cortes de fundações da Nave e da parte administrativa, Fase: Projeto de Execução, Especialidade: Estabilidade*. Data 02-06-2020.

[33] Equipa de Projeto. *Imagem 3D da Nave, Fase: Projeto de Execução, Especialidade: Estabilidade*. Data 10-07-2020.

[34] One Click LCA (URL: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014827480). Acedido em Outubro 2020.

[35] Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings (URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110082/report_d1_online_final.pdf). Acedido em Novembro 2020.

[36] Sika Portugal (URL: https://prt.sika.com/content/dam/dms/pt01/7/68.%20Inertol%20F%20_07.506.pdf). Acedido em Novembro 2020.

[37] Peso volúmico dos materiais (URL: http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/ee/Tabelas.pdf). Acedido em Outubro 2020.

[38] MM Metalica (URL: http://mm-metalica.com/pt/produto/conduta-circular/). Acedido em Novembro 2020.

[39] Hammond, G., Jones, C., Lowrie, F., Tse, P. *Embodied Carbon The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. BSRIA, 2011.

[40] buildingSMART Technical (URL: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/). Acedido em Novembro 2020.

[41] DAPHabitat (URL: https://daphabitat.pt). Acedido em Novembro 2020.

[42] BREEAM (URL: https://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/content/06_energy/ene04.htm). Acedido em Novembro 2020.

ANEXOS

ANEXO 1: BASE DE DADOS ICE - INVENTORY OF CARBON AND ENERGY

ANEXO 2: FICHEIRO EXCEL A SUBMETER NA PLATAFORMA ONE CLICK LCA

ANEXO 3: ALTERAÇÕES EFETUADAS NOS 19 MATERIAIS NA PLATAFORMA ONE CLICK LCA

ANEXO 1

BASE DE DADOS ICE – INVENTORY OF CARBON AND ENERGY

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Aggregate				
General (Gravel or Crushed Rock)	0·083	0·0048	0·0052	Estimated from measured UK industrial fuel consumption data.
Aluminium Main data source: International Aluminium Institute (IAI) LCA studies (www.world-aluminium.org)				
General	**155**	**8·24**	**9·16**	**Assumed (UK) ratio of 25·6% extrusions, 55·7% rolled and 18·7% castings. Worldwide average recycled content of 33%.**
Virgin	218	11·46	12·79	
Recycled	29·0	1·69	1·81	
Cast Products	**159**	**8·28**	**9·22**	**Worldwide average recycled content of 33%.**
Virgin	226	11·70	13·10	
Recycled	25·0	1·35	1·45	
Extruded	**154**	**8·16**	**9·08**	**Worldwide average recycled content of 33%.**
Virgin	214	11·20	12·50	
Recycled	34·0	1·98	2·12	
Rolled	**155**	**8·26**	**9·18**	**Worldwide average recycled content of 33%.**
Virgin	217	11·50	12·80	
Recycled	28	1·67	1·79	
Asphalt				
Asphalt, 4% (bitumen) binder content (by mass)	2·86	0·059	0·066	1·68 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Modelled from the bitumen binder content. The fuel consumption of asphalt mixing operations was taken from the Mineral Products Association (MPA). It represents typical UK industrial data. Feedstock energy is from the bitumen content.
Asphalt, 5% binder content	3·39	0·064	0·071	2·10 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 6% binder content	3·93	0·068	0·076	2·52 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 7% binder content	4·46	0·072	0·081	2·94 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Asphalt, 8% binder content	5·00	0·076	0·086	3·36 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Comments from 4% mix also apply.
Bitumen				
General	51	0·38 - 0·43 (?)	0·43 - 0·55 (?)	42 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Feedstock assumed to be typical energy content of Bitumen. Carbon dioxide emissions are particularly difficult to estimate, range given.
Brass				
General	**44·00**	**2·46 (?)**	**2·64 (?)**	**Poor data availability. It is believed that the data may be largely dependent upon ore grade. Poor carbon data, making estimate of embodied carbon difficult.**
Virgin	80·00	4·47 (?)	4·80 (?)	
Recycled	20·00	1·12 (?)	1·20 (?)	

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2$/kg	EC – (GHG) $kgCO_2e$/kg	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Bricks				
General (Common Brick)	3·00	0·23	0·24	
EXAMPLE: Single brick	6·9 MJ per brick	0·53 $kgCO_2$ per brick	0·55	Assuming 2·3 kg per brick.
Limestone	0·85	?	-	
Bronze				
General	69·0 (?)	3·73 (?)	4·0 (?)	Average of the only two references.
Carpet				
General Carpet	74 (187 per sqm)	3·9 (9·8 per sqm)	-	For per square metre estimates see material profile. Difficult to estimate, taken from Ref. 94.
Felt (Hair and jute) underlay	19·00	0·97	-	Ref. 94.
Nylon (Polyamide), pile weight 300 g/m^2	130 MJ per sqm	6·7 (GWP) per sqm	6·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 1477 g/m^2. See Refs. 277 and 279. These carpets (inc. below) are a tufted surface pile made of 100% nylon (polyamide) with a woven textile backing and flame proofed on the basis of aluminium hydroxide.
Nylon (Polyamide), pile weight 500 g/m^2	180 MJ per sqm	9·7 (GWP) per sqm	9·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 1837 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 700 g/m^2	230 MJ per sqm	12·7 (GWP) per sqm	12·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2147 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 900 g/m^2	277 MJ per sqm	15·6 (GWP) per sqm	15·6 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2427 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Nylon (Polyamide), pile weight 1100 g/m^2	327 MJ per sqm	18·4 (GWP) per sqm	18·4 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 2,677 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 300 g/m^2	178 MJ per sqm	7·75 (GWP) per sqm	7·75 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4123 g/m^2. See Refs. 277 and 279. These carpet tiles (inc. below) are a tufted surface pile made of 100% nylon (polyamide) fleece-covered bitumen backing and flame-proofed on the basis of aluminium hydroxide.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 500 g/m^2	229 MJ per sqm	10·7 (GWP) per sqm	10·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4373 g/m^2 See Refs. 277 and 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 700 g/m^2	279 MJ per sqm	13·7 (GWP) per sqm	13·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4623 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 900 g/m^2	328 MJ per sqm	16·7 (GWP) per sqm	16·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 4873 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Carpet tiles, nylon (Polyamide), pile weight 1100 g/m^2	378 MJ per sqm	19·7 (GWP) per sqm	19·7 (GWP) per sqm	Total weight of this carpet 5123 g/m^2. See Refs. 277 and 279.
Polyethyl-terepthalate (PET)	106·50	5·56	-	Includes feedstock energy.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Polypropylene	95·40	4·98	-	Includes feedstock energy, for per square metre see material profile.
Polyurethane	72·10	3·76	-	Includes feedstock energy.
Rubber	67·5 to 140	3·61 to 7·48	-	
Saturated Felt Underlay (impregnated with Asphalt or tar)	31·70	1·65	-	Ref. 94.
Wool	106·00	5·53	-	For per square metre see material profile. See Refs. 63, 201, 202 and 281 (Same author).
Cement				
General (UK weighted average)	4·5	0·73	0·74	Weighted average of all cement consumed within the UK. This includes all factory made cements (CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV) and further blending of fly ash and ground granulated blast furnace slag. This data has been estimated from the Mineral Products Association (MPA) factsheets (see Ref. 59). 23% cementitious additions on average.
Average CEM I Portland Cement, 94% Clinker	5·50	0·93	0·95	This is a standard cement with no cementitious additions (i.e. fly ash or blast furnace slag). Composition 94% clinker, 5% gypsum, 1% minor additional constituents (mac's). This data has been estimated from the British Cement Association's factsheets (see Ref. 59).
6-20% Fly Ash (CEM II/A-V)	5·28 to 4·51	0·88 (@ 6%) to 0·75 (@ 20%)	0·89 to 0·76	See material profile for further details.
21-35% Fly Ash (CEM II/B-V)	4·45 to 3·68	0·74 to 0·61	0·75 to 0·62	
21-35% GGBS (CEM II/B-S)	4·77 to 4·21	0·76 to 0·64	0·77 to 0·65	
36-65% GGBS (CEM III/A)	4·17 to 3·0	0·63 to 0·38	0·64 to 0·39	
66-80% GGBS (CEM II/B)	2·96 to 2·4	0·37 to 0·25	0·38 to 0·26	
Fibre Cement Panels - Uncoated	10·40	1·09	-	Few data points. Selected data modified from Ref. 107.
Fibre Cement Panels - (Colour) Coated	15·30	1·28	-	
Mortar (1:3 Cement:Sand mix)	1·33	0·208	0·221	Values estimated from the ICE Cement, Mortar and Concrete Model.
Mortar (1:4)	1·11	0·171	0·182	
Mortar (1:5)	0·97	0·146	0·156	
Mortar (1:6)	0·85	0·127	0·136	
Mortar (1:½:4½ Cement:Lime: Sand mix)	1·34	0·200	0·213	
Mortar (1:1:6 Cement:Lime: Sand mix)	1·11	0·163	0·174	
Mortar (1:2:9 Cement:Lime: Sand mix)	1·03	0·145	0·155	
Cement stabilised soil @ 5%	0·68	0·060	0·061	Assumed 5% cement content.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients									Comments
	EE - MJ/kg			EC - $kgCO_2/kg$			EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$			EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Cement stabilised soil @ 8%	0·83			0·082			0·084			Assumed 8% stabiliser contents (6% cement and 2% quicklime).
Ceramics										
General	10·00			0·66			0·70			Very Large data range, difficult to select values for general ceramics.
Fittings	20·00			1·07			1·14			Ref. 1.
Sanitary Products	29·00			1·51			1·61			Limited data.
Tiles and Cladding Panels	12·00			0·74			0·78			Difficult to select, large range, limited data. See Ref. 292.
Clay										
General (Simple Baked Products)	3·00			0·23			0·24			General simple baked clay products (inc. terracotta and bricks).
Tile	6·50			0·45			0·48			
Vitrified clay pipe DN 100 and DN 150	6·20			0·44			0·46			
Vitrified clay pipe DN 200 and DN 300	7·00			0·48			0·50			
Vitrified clay pipe DN 500	7·90			0·52			0·55			
Concrete										
General	0·75			0·100			0·107			It is strongly recommended to avoid selecting a 'general' value for concrete. Selecting data for a specific concrete type (often a ready mix) will give greater accuracy, please see material profile. Assumed cementitious content 12% by mass. Assumed use of weighted average UK cement.
16/20 MPa	0.70			0·093			0·100			Using UK weighted average cement (more representative of 'typical' concrete mixtures).
20/25 MPa	0.74			0·100			0·107			
25/30 MPa	0.78			0·106			0·113			
28/35 MPa	0.82			0·112			0·120			
32/40 MPa	0.88			0·123			0·132			
40/50 MPa	1.00			0·141			0·151			
% Cement Replacement - Fly Ash	0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement (not typical)
GEN 0 (6/8 MPa)	0·55	0·52	0·47	0·071	0·065	0·057	0·076	0·069	0·061	Compressive strength designation C6/8 MPa. 28 day compressive strength under British cube method of 8 MPa, under European cylinder method 6 MPa. Possible uses: Kerb bedding and backing. Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of ready mix concrete is 8·3 km by road (see Ref. 244).
GEN 1 (8/10 MPa)	0·70	0·65	0·59	0·097	0·088	0·077	0·104	0·094	0·082	Possible uses: mass concrete, mass fill, mass foundations, trench foundations, blinding, strip footing.
GEN 2 (12/15 MPa)	0·76	0·71	0·64	0·106	0·098	0·087	0·114	0·105	0·093	-
GEN 3 (16/20 MPa)	0·81	0·75	0·68	0·115	0·105	0·093	0·123	0·112	0·100	Possible uses: garage floors.
RC 20/25 (20/25 MPa)	0·86	0·81	0·73	0·124	0·114	0·101	0·132	0·122	0·108	-
RC 25/30 (25/30 MPa)	0·91	0·85	0·77	0·131	0·121	0·107	0·140	0·130	0·115	Possible uses: reinforced foundations.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients									Comments
	EE - MJ/kg			EC - $kgCO_2/kg$			EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$			EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
RC 28/35 (28/35 MPa)	0·95	0·90	0·82	0·139	0·129	0·116	0·148	0·138	0·124	Possible uses: reinforced foundations, ground floors.
RC 32/40 (32/40 MPa)	1·03	0·97	0·89	0·153	0·143	0·128	0·163	0·152	0·136	Possible uses: structural purposes, in situ floors, walls, superstructure.
RC 40/50 (40/50 MPa)	1·17	1·10	0·99	0·176	0·164	0·146	0·188	0·174	0·155	Possible uses: high strength applications, precasting.
PAV1	0·95	0·89	0·81	0·139	0·129	0·115	0·148	0·138	0·123	Possible uses: domestic parking and outdoor paving.
PAV2	1·03	0·97	0·89	0·153	0·143	0·128	0·163	0·152	0·137	Possible uses: heavy duty outdoor paving.
% Cement Replacement - Blast Furnace Slag	0%	25%	50%	0%	25%	50%	0%	25%	50%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement (cement)
GEN 0 (6/8 MPa)	0·55	0·48	0·41	0·071	0·056	0·042	0·076	0·060	0·045	See fly ash mixtures.
GEN 1 (8/10 MPa)	0·70	0·60	0·50	0·097	0·075	0·054	0·104	0·080	0·058	
GEN 2 (12/15 MPa)	0·76	0·62	0·55	0·106	0·082	0·061	0·114	0·088	0·065	
GEN 3 (16/20 MPa)	0·81	0·69	0·57	0·115	0·090	0·065	0·123	0·096	0·070	
RC 20/25 (20/25 MPa)	0·86	0·74	0·62	0·124	0·097	0·072	0·132	0·104	0·077	
RC 25/30 (25/30 MPa)	0·91	0·78	0·65	0·131	0·104	0·076	0·140	0·111	0·081	
RC 28/35 (28/35 MPa)	0·95	0·83	0·69	0·139	0·111	0·082	0·148	0·119	0·088	
RC 32/40 (32/40 MPa)	1·03	0·91	0·78	0·153	0·125	0·094	0·163	0·133	0·100	
RC 40/50 (40/50 MPa)	1·17	1·03	0·87	0·176	0·144	0·108	0·188	0·153	0·115	
PAV1	0·95	0·82	0·70	0·139	0·111	0·083	0·148	0·118	0·088	
PAV2	1·03	0·91	0·77	0·153	0·125	0·094	0·163	0·133	0·100	
COMMENTS										
The first column represents standard concrete, created with a CEM I Portland cement. The other columns are estimates based on a direct substitution of fly ash or blast furnace slag in place of the cement content. The ICE Cement, Mortar and Concrete Model was applied. Please see important notes in the concrete material profile.										
REINFORCED CONCRETE - Modification Factors										
	For reinforcement add this value to the appropriate concrete coefficient for each 100 kg of rebar per m^3 of concrete									
	1·04			0·072			0·077			Add for each 100 kg steel rebar per m^3 concrete. Use multiple of this value, i.e. for 150 kg steel use a factor of 1·5 times these values.
EXAMPLE: Reinforced RC 25/30 MPa (with 110 kg per m^3 concrete)	1.92 MJ/kg (0·78 + 1·04 * 1·1)			0·185 $kgCO_2/kg$ (0·106 + 0·072 * 1·1)			0·198 $kgCO_2e/kg$ (0·113 + 0·077 * 1·1)			With 110 kg rebar per m^3 concrete. UK weighted average cement. This assumes the UK typical steel scenario (59% recycled content). Please consider if this is in line with the rest of your study (goal and scope) or the requirements of a predefined method.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
PRECAST (PREFABRICATED) CONCRETE - Modification Factors				
	For precast add this value to the selected coefficient of the appropriate concrete mix			
	0·45	0·027	0·029	For each 1 kg precast concrete. The example is using a RC 40/50 strength class and is not necessarily indicative of an average precast product. Includes UK recorded plant operations and estimated transportation of the constituents to the factory gate (38km aggregates, estimated 100km cement). Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of precast is 155 km by road (see Ref. 244). UK weighted average cement.
EXAMPLE: Precast RC 40/50 MPa	1·50 MJ/kg (1·00 + 0·50)	0·168 $kgCO_2/kg$ (0·141 + 0·027)	0·180 $kgCO_2/kg$ (0·151 + 0·029)	
EXAMPLE: Precast RC 40/50 with reinforcement (with 80kg per m^3)	2·33 MJ/kg (1·50 + 1·04 * 0·8)	0·229 $kgCO_2/kg$ (0·171 + 0·072 * 0·8)	0·242 $kgCO_2/kg$ (0·180 + 0·077 * 0·8)	
CONCRETE BLOCKS (ICE CMC Model Values)				
Block - 8 MPa Compressive Strength	0·59	0·059	0·063	Estimated from the concrete block mix proportions, plus an allowance for concrete block curing, plant operations and transport of materials to factory gate.
Block -10 MPa	0·67	0·073	0·078	
Block -12 MPa	0·72	0·082	0·088	
Block -13 MPa	0·83	0·100	0·107	
Autoclaved Aerated Blocks (AAC's)	3·50	0·24 to 0·375	-	Not ICE CMC model results.
NOMINAL PROPORTIONS METHOD (Volume), Proportions from BS 8500:2006 (ICE Cement, Mortar and Concrete Model Calculations)				
1:1:2 Cement:Sand: Aggregate	1·28	0·194	0·206	High strength concrete. All of these values were estimated assuming the UK average content of cementitious additions (i.e. fly ash, GGBS) for factory supplied cements in the UK, see Ref. 59, plus the proportions of other constituents.
1:1.5:3	0·99	0·145	0·155	Often used in floor slab, columns and load bearing structure.
1:2:4	0·82	0·116	0·124	Often used in construction of buildings under 3 storeys.
1:2.5:5	0·71	0·097	0·104	
1:3:6	0·63	0·084	0·090	Non-structural mass concrete.
1:4:8	0·54	0·069	0·074	
BY CEM I CEMENT CONTENT - kg CEM I cement content per cubic metre concrete (ICE CMC Model Results)				
120 kg / m^3 concrete	0·49	0·060	0·064	Assumed density of 2350 kg/m^3. Interpolation of the CEM I cement content is possible. These numbers assume the CEM I cement content (not the total cementitious content, i.e. they do not include cementitious additions). They may also be used for fly ash mixtures without modification, but they are likely to slightly underestimate mixtures that have additional GGBS due to the higher embodied energy and carbon of GGBS (in comparison to aggregates and fly ash).
200 kg / m^3 concrete	0·67	0·091	0·097	
300 kg / m^3 concrete	0·91	0·131	0·140	
400kg / m^3 concrete	1·14	0·170	0·181	
500 kg / m^3 concrete	1·37	0·211	0·224	

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Lead				
General	**25·21**	**1·57**	**1·67**	**Allocated (divided) on a mass basis, assumes recycling rate of 61%.**
Virgin	49·00	3·18	3·37	
Recycled	10·00	0·54	0·58	Scrap batteries are a main feedstock for recycled lead.
Lime				
General	5·30	0·76	0·78	Embodied carbon was difficult to estimate.
Linoleum				
General	25·00	1·21	-	Data difficult to select, large data range.
Miscellaneous				
Asbestos	7·40	-	-	Ref. 4.
Calcium Silicate Sheet	2·00	0·13	-	Ref. 55.
Chromium	83	5·39	-	Ref. 22.
Cotton, Padding	27·10	1·28	-	Ref. 38.
Cotton, Fabric	143	6·78	-	Ref. 38.
Damp Proof Course/ Membrane	134 (?)	4·2 (?)	-	Uncertain estimate.
Felt General	36	-	-	
Flax	33·50	1·70	-	Ref. 2.
Fly Ash	0·10	0·008	-	No allocation from fly ash producing system.
Grit	0·12	0·01	-	Ref. 114.
Ground Limestone	0·62	0·032	-	
Carpet Grout	30·80	-	-	Ref. 169.
Glass Reinforced Plastic - GRP - Fibreglass	100	8·10	-	Ref. 1.
Lithium	853	5·30	-	Ref. 22.
Mandolite	63	1·40	-	Ref. 1.
Mineral Fibre Tile (Roofing)	37	2·70	-	Ref. 1.
Manganese	52	3·50	-	Ref. 22.
Mercury	87	4·94	-	Ref. 22.
Molybedenum	378	30·30	-	Ref. 22.
Nickel	164	12·40	-	Ref. 114.
Perlite - Expanded	10·00	0·52	-	Ref. 114.
Perlite - Natural	0·66	0·03	-	Ref. 114.
Quartz powder	0·85	0·02	-	Ref. 114.
Shingle	11·30	0·30	-	Ref. 70.
Silicon	2355	-	-	Ref. 167.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Slag (GGBS)	1·60	0·083	-	Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS), economic allocation.
Silver	128·20	6·31	-	Ref. 148.
Straw	0·24	0·01	-	Refs. 63, 201, 202 and 281.
Terrazzo Tiles	1·40	0·12	-	Ref. 1.
Vanadium	3710	228	-	Ref. 22.
Vermiculite - Expanded	7·20	0·52	-	Ref. 114.
Vermiculite - Natural	0·72	0·03	-	Ref. 114.
Vicuclad	70·00	-	-	Ref. 1.
Water	0·01	0·001	-	
Wax	52·00	-	-	Ref. 169.
Wood stain/Varnish	50·00	5·35	-	Ref. 1.
Yttrium	1470	84·00	-	Ref. 22.
Zirconium	1610	97·20	-	Ref. 22.
Paint				
General	70·00	2·42	2·91	Large variations in data, especially for embodied carbon. Includes feedstock energy. Water based paints have a 70% market share. Water based paint has a lower embodied energy than solvent based paint.
EXAMPLE: Single Coat	10·5 MJ/Sqm	0·36 $kgCO_2$/Sqm	0·44	Assuming 6·66 Sqm Coverage per kg.
EXAMPLE: Double Coat	21·0 MJ/Sqm	0·73 $kgCO_2$/Sqm	0·87	Assuming 3·33 Sqm Coverage per kg.
EXAMPLE: Triple Coat	31·5 MJ/Sqm	1·09 $kgCO_2$/Sqm	1·31	Assuming 2·22 Sqm Coverage per kg.
Waterborne Paint	59·00	2·12	2·54	Waterborne paint has a 70% of market share. Includes feedstock energy.
Solventborne Paint	97·00	3·13	3·76	Solventbourne paint has a 30% share of the market. Includes feedstock energy. It was difficult to estimate carbon emissions for solventborne paint.
Paper				
Paperboard (General for construction use)	24·80	1·29	-	Excluding calorific value (CV) of wood, excludes carbon sequestration/biogenic carbon storage.
Fine Paper	28·20	1·49	-	Excluding CV of wood, excludes carbon sequestration.
EXAMPLE: 1 packet A4 paper	70·50	3·73	-	Standard 80 g/sqm printing paper, 500 sheets a pack. Doesn't include printing.
Wallpaper	36·40	1·93	-	
Plaster				
General (Gypsum)	1·80	0·12	0·13	Problems selecting good value, inconsistent figures, West et al believe this is because of past aggregation of EE with cement.
Plasterboard	6·75	0·38	0·39	See Ref [WRAP] for further info on GWP data, including disposal impacts which are significant for Plasterboard.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Plastics	Main data source: Plastics Europe (www.plasticseurope.org) ecoprofiles			
General	80·50	2·73	3·31	35·6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Determined by the average use of each type of plastic used in the European construction industry.
ABS	95·30	3·05	3·76	48·6 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
General Polyethylene	83·10	2·04	2·54	54·4 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Based on average consumption of types of polyethylene in European construction
High Density Polyethylene (HDPE) Resin	76·70	1·57	1·93	54·3 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include the final fabrication.
HDPE Pipe	84·40	2·02	2·52	55·1 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Low Density Polyethylene (LDPE) Resin	78·10	1·69	2·08	51·6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include the final fabrication.
LDPE Film	89·30	2·13	2·60	55·2 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Nylon (Polyamide) 6 Polymer	120·50	5·47	9·14	38·6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication. Plastics Europe state that two thirds of nylon is used as fibres (textiles, carpets etc) in Europe and that most of the remainder as injection mouldings. Dinitrogen monoxide and methane emissions are very significant contributors to GWP.
Nylon (polyamide) 6,6 Polymer	138·60	6·54	7·92	50·7 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication (i.e. injection moulding). See comments for Nylon 6 polymer.
Polycarbonate	112·90	6·03	7·62	36·7 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Doesn't include final fabrication.
Polypropylene, Orientated Film	99·20	2·97	3·43	55·7 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Polypropylene, Injection Moulding	115·10	3·93	4·49	54 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO_2 may reduce to 3·85 $kgCO_2/kg$, and GWP down to 4·41 kg CO_2e/kg.
Expanded Polystyrene	88·60	2·55	3·29	46·2 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
General Purpose Polystyrene	86·40	2·71	3·43	46·3 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
High Impact Polystyrene	87·40	2·76	3·42	46·4 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Thermoformed Expanded Polystyrene	109·20	3·45	4·39	49·7 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Polyurethane Flexible Foam	102·10	4·06	4·84	33·47 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Poor data availability for feedstock energy.
Polyurethane Rigid Foam	101·50	3·48	4·26	37·07 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Poor data availability for feedstock energy.
PVC General	77·20	2·61	3·10	28·1 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Based on market average consumption of types of PVC in the European construction industry.
PVC Pipe	67·50	2·56	3·23	24·4 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Calendared Sheet PVC	68·60	2·61	3·19	24·4 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO_2 may reduce to 2·56 $kgCO_2/kg$, and GWP down to 3·15 kg CO_2e/kg.
PVC Injection Moulding	95·10	2·69	3·30	35·1 MJ/kg Feedstock Energy (Included). If biomass benefits are included the CO_2 may reduce to 2·23 $kgCO_2/kg$, and GWP down to 2·84 kg CO_2e/kg.
UPVC Film	69·40	2·57	3·16	25·3 MJ/kg Feedstock Energy (Included).

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Rubber				
General	91·00	2·66	2·85	40 MJ/kg Feedstock Energy (Included).
Sand				
General	0·081	0·0048	0·0051	Estimated from real UK industrial fuel consumption data.
Sealants and adhesives				
Epoxide Resin	137·00	5·70	-	42·6 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Source: www.plasticseurope.org.
Mastic Sealant	62 to 200	-	-	
Melamine Resin	97·00	4·19	-	Feedstock energy 18 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Phenol Formaldehyde	88·00	2·98	-	Feedstock energy 32 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Urea Formaldehyde	70·00	2·76	-	Feedstock energy 18 MJ/kg - estimated from Ref 34.
Soil				
General (Rammed Soil)	0·45	0·023	0·024	
Cement stabilised soil @ 5%	0·68	0·060	0·061	Assumed 5% cement content.
Cement stabilised soil @ 8%	0·83	0·082	0·084	Assumed 8% stabiliser content (6% cement and 2% lime).
GGBS stabilised soil	0·65	0·045	0·047	Assumed 8% stabiliser content (8% GGBS and 2% lime).
Fly ash stabilised soil	0·56	0·039	0·041	Assumed 10% stabiliser content (8% fly ash and 2% lime).
Steel	Main data source: International Iron and Steel Institute (IISI) LCA studies (www.worldsteel.org)			
UK (EU) STEEL DATA - EU average recycled content - See material profile (and Annex B) for usage guide				
General - UK (EU) Average Recycled Content	**20·10**	**1·37**	**1·46**	**EU 3-average recycled content of 59%. Estimated from UK's consumption mixture of types of steel (excluding stainless). All data doesn't include the final cutting of the steel products to the specified dimensions or further fabrication activities. Estimated from World Steel Association (Worldsteel) LCA data.**
Virgin	35·40	2·71	2·89	
Recycled	9·40	0·44	0·47	Could not collect strong statistics on consumption mix of recycled steel.
Bar and rod - UK (EU) Average Recycled Content	**17·40**	**1·31**	**1·40**	**EU 3-average recycled content of 59%.**
Virgin	29·20	2·59	2·77	
Recycled	8·80	0·42	0·45	
Coil (Sheet) - UK (EU) Average Recycled Content	**18·80**	**1·30**	**1·38**	**Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%.**
Virgin	32·80	2·58	2·74	
Recycled	Not typical production route (also applies to galvanised. coil)			

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Coil (Sheet), Galvanised - UK (EU) Average Recycled Content	**22·60**	**1·45**	**1·54**	**Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%.**
Virgin	40·00	2·84	3·01	
Engineering steel - Recycled	13·10	0·68	0·72	
Pipe- UK (EU) Average Recycled Content	**19·80**	**1·37**	**1·45**	**Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%.**
Virgin	34·70	2·71	2·87	
Recycled	Not Typical Production Route			
Plate- UK (EU) Average Recycled Content	**25.10**	**1·55**	**1·66**	**Effective recycled content because recycling route is not typical. EU 3-average recycled content of 59%.**
Virgin	45·40	3·05	3·27	
Recycled	Not Typical Production Route			
Section- UK (EU) Average Recycled Content	**21·50**	**1·42**	**1·53**	
Virgin	38·00	2·82	3·03	
Recycled	10·00	0·44	0·47	
Wire - Virgin	36·00 (?)	2·83 (?)	3·02	
Stainless	56·70	6·15	-	World average data from the Institute of Stainless Steel Forum (ISSF) life cycle inventory data. Selected data is for the most popular grade (304). Stainless steel does not have separate primary and recycled material production routes.
OTHER STEEL DATA - 'R.O.W' and 'World' average recycled contents - See material profile (and Annex B) for usage guide				
General - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	26·20	1·90	2·03	Rest of World (non-E.U.) consumption of steel. Three year average recycled content of 35·5%.
General - World Avg. Recy. Cont.	25·30	1·82	1·95	Whole world Three year average recycled content of 39%.
Bar and rod- R.O.W. Avg. Recy. Cont.	22·30	1·82	1·95	
Bar and rod - World Avg. Recy. Cont.	21·60	1·74	1·86	
Coil - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	24·40	1·81	1·92	Comments above apply. See material profile for further information.
Coil - World Avg. Recy. Cont.	23·50	1·74	1·85	
Coil, Galvanised - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	29·50	2·00	2·12	

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Coil, Galvanised - World Avg. Recy. Cont.	28·50	1·92	2·03	Comments on previous page apply. See material profile for further information.
Pipe - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	25·80	1·90	2·01	
Pipe - World Avg. Recy. Cont.	24·90	1·83	1·94	
Plate - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	33·20	2·15	2·31	
Plate - World Avg. Recy. Cont.	32·00	2·06	2·21	
Section - R.O.W. Avg. Recy. Cont.	28·10	1·97	2·12	
Section - World Avg. Recy. Cont.	27·10	1·89	2·03	
Stone	Data on stone was difficult to select, with high standard deviations and data ranges.			
General	1·26 (?)	0·073 (?)	0·079	ICE database average (statistic), uncertain. See material profile.
Granite	11·00	0·64	0·70	Estimated from Ref 116.
Limestone	1·50	0·087	0·09	Estimated from Ref 188.
Marble	2·00	0·116	0·13	
Marble tile	3·33	0·192	0·21	Ref. 40.
Sandstone	1·00 (?)	0·058 (?)	0·06	Uncertain estimate based on Ref. 262.
Shale	0·03	0·002	0·002	
Slate	0·1 to 1·0	0·006 to 0·058	0·007 to 0·063	Large data range.
Timber	Note: These values were difficult to estimate because timber has a high data variability. These values exclude the energy content of the wooden product (the Calorific Value (CV) from burning). See the timber material profile and the FAQs for guidance on the new data structure for embodied carbon ($_{fos}$ and $_{bio}$).			
General	10·00	$0{\cdot}30_{fos}+0{\cdot}41_{bio}$	$0{\cdot}31_{fos}+0{\cdot}41_{bio}$	Estimated from UK consumption mixture of timber products in 2007 (Timber Trade Federation statistics). Includes 4·3 MJ bio-energy. All values do not include the CV of timber and exclude carbon storage.
Glue Laminated timber	12·00	$0{\cdot}39_{fos}+0{\cdot}45_{bio}$	$0{\cdot}42_{fos}+0{\cdot}45_{bio}$	Includes 4·9 MJ bio-energy.
Hardboard	16·00	$0{\cdot}54_{fos}+0{\cdot}51_{bio}$	$0{\cdot}58_{fos}+0{\cdot}51_{bio}$	Hardboard is a type of fibreboard with a density above 800 kg/m^3. Includes 5·6 MJ bio-energy.
Laminated Veneer Lumber	9·50	$0{\cdot}31_{fos}+0{\cdot}32_{bio}$	$0{\cdot}33_{fos}+0{\cdot}32_{bio}$	Ref 150. Includes 3·5 MJ bio-energy.
MDF	11 (?)	$0{\cdot}37_{fos}+0{\cdot}35_{bio}$	$0{\cdot}39_{fos}+0{\cdot}35_{bio}$	Wide density range (350-800 kg/m^3). Includes 3·8 MJ bio-energy.
Oriented Strand Board (OSB)	15·00	$0{\cdot}42_{fos}+0{\cdot}54_{bio}$	$0{\cdot}45_{fos}+0{\cdot}54_{bio}$	Estimated from Refs. 103 and 150. Includes 5·9 MJ bio-energy.
Particle Board	14·50	$0{\cdot}52_{fos}+0{\cdot}32_{bio}$	$0{\cdot}54_{fos}+0{\cdot}32_{bio}$	Very large data range, difficult to select appropriate values. Modified from CORRIM reports. Includes 3·2 MJ bio-energy (uncertain estimate).
Plywood	15·00	$0{\cdot}42_{fos}+0{\cdot}65_{bio}$	$0{\cdot}45_{fos}+0{\cdot}65_{bio}$	Includes 7·1 MJ bio-energy.

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Sawn Hardwood	10·40	$0·23_{fos} + 0·63_{bio}$	$0·24_{fos} + 0·63_{bio}$	It was difficult to select values for hardwood, the data was estimated from the CORRIM studies (Ref. 88). Includes 6·3 MJ bio-energy.
Sawn Softwood	7·40	$0·19_{fos} + 0·39_{bio}$	$0·20_{fos} + 0·39_{bio}$	Includes 4·2 MJ bio-energy.
Veneer Particleboard (Furniture)	$23_{(fos + bio)}$	(?)	(?)	Unknown split of fossil based and bio-energy fuels.
Tin				
Tin Coated Plate (Steel)	19·2 to 54·7	1·04 to 2·95	-	
Tin	250·00	13·50	14·47	Lack of modern data, large data range
Titanium				
Virgin	361 to 745	19·2 to 39·6 (??)	20·6 to 42·5 (??)	Lack of modern data, large data range, small sample size.
Recycled	258·00	13·7 (??)	14·7 (??)	Lack of modern data, large data range, small sample size.
Vinyl Flooring				
General	65·64	2·29	-	23·58 MJ/kg Feedstock Energy (Included), Same value as PVC calendared sheet.
Vinyl Composite Tiles (VCT)	13·70	-	-	Ref. 94.
Zinc				
General	**53·10**	**2·88**	**3·09**	Uncertain carbon estimates, currently estimated from typical UK industrial fuel mix. Recycled content of general Zinc 30%.
Virgin	72·00	3·90	4·18	
Recycled	9·00	0·49	0·52	
Miscellaneous (No material profiles):				
PV Modules	MJ/sqm	Kg CO_2/sqm		
Monocrystalline	4750 (2590 to 8640)	242 (132 to 440)	-	Embodied carbon estimated from typical UK industrial fuel mix. This is not an ideal method.
Polycrystalline	4070 (1945 to 5660)	208 (99 to 289)	-	
Thin Film	1305 (775 to 1805)	67 (40 to 92)	-	
Roads	Main data source: ICE reference number 147			
Asphalt road - Hot construction method - 40 years	**2509 MJ/Sqm**	**93 $KgCO_2$/Sqm**	**99 $KgCO_2$/Sqm**	**730 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included). For more detailed data see reference 147. (Swedish study). The data in this report was modified to fit within the ICE framework. Includes all sub-base layers to construct a road. Sum of construction, maintenance, operation.**
Construction	1069 MJ/Sqm	30·9 $KgCO_2$/Sqm	32·8 $KgCO_2$/Sqm	480 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included).
Maintenance - 40 years	471 MJ/Sqm	11·6 $KgCO_2$/Sqm	12·3 $KgCO_2$/Sqm	250 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included).
Operation - 40 years	969 MJ/Sqm	50·8 $KgCO_2$/Sqm	54·0 $KgCO_2$/Sqm	Swedish scenario of typical road operation, includes street and traffic lights (95% of total energy), road clearing, sweeping, gritting and snow clearing.
Asphalt road - Cold construction method - 40 years	**3030 MJ/Sqm**	**91 $KgCO_2$/Sqm**	**97 $KgCO_2$/Sqm**	**1290 MJ/kg Feedstock Energy (Included). Sum of construction, maintenance, operation.**
Construction	825 MJ/Sqm	26·5 $KgCO_2$/Sqm	28·2 $KgCO_2$/Sqm	320 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included).

Materials	Embodied Energy and Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - $kgCO_2/kg$	EC – (GHG) $kgCO_2e/kg$	EE = Embodied Energy, EC = Embodied Carbon
Maintenance - 40 years	1556 MJ/Sqm	13·9 $KgCO_2$/Sqm	14·8 $KgCO_2$/Sqm	970 MJ/Sqm Feedstock Energy (Included).
Operation - 40 years	969 MJ/Sqm	50·8 $KgCO_2$/Sqm	54·0 $KgCO_2$/Sqm	See hot rolled asphalt.
Concrete road - 40 years	**2084 MJ/Sqm**	**142 $KgCO_2$/Sqm**	-	**Sum of construction, maintenance, operation.**
Construction	885 MJ/Sqm	77 $KgCO_2$/Sqm	-	
Maintenance - 40 years	230 MJ/Sqm	14·7 $KgCO_2$/Sqm	-	
Operation - 40 years	969 MJ/Sqm	50·8 $KgCO_2$/Sqm	-	Swedish scenario of typical road operation, includes street and traffic lights (95% of total energy), and also road clearing, sweeping, gritting and snow clearing.
Note: *The above data for roads were based on a single reference (ref 145). There were other references available but it was not possible to process the reports into useful units (per sqm). One of the other references indicates a larger difference between concrete and asphalt roads than the data above. If there is a particular interest in roads the reader is recommended to review the literature in further detail.*				
Windows	MJ per Window			
1·2 m x 1·2 m Single Glazed Timber Framed Unit	286 (?)	14·6 (?)	-	Embodied carbon estimated from typical UK industrial fuel mix.
1·2 m x 1·2 m Double Glazed (Air or Argon Filled):	--	--	-	--
Aluminium Framed	5470	279	-	
PVC Framed	2150 to 2470	110 to 126	-	
Aluminium - Clad Timber Framed	950 to 1460	48 to 75	-	
Timber Framed	230 to 490	12 to 25	-	
Krypton Filled Add:	510	26	-	
Xenon Filled Add:	4500	229	-	

ANEXO 2
FICHEIRO EXCEL A SUBMETER NA PLATAFORMA ONE CLICK LCA

CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_ TYPE	TRANSPORT _KM	COMMENT	BREEAM Int'l Mat 01 classification	*MAT01 CLASS*
BEAM	Solid reinforced concrete slabs C30/37, XC1 (P), Cl 0.40	1758093	KG	100	Concrete or cementitious	Upper floors (including horizontal structure)	*6*
BUILDINGTECH	Rolling path	263575	KG	100	Metal	Lift and Conveyor Installations / Systems	*22*
COLUMN	Structural pillars for doors or gates	311547	KG	100	Metal	Structural frame (vertical)	*5*
COLUMN	Execution of Pillars in reinforced concrete C30/37, XC2 (P), Cl 0.40	1819119	KG	100	Concrete or cementitious	Structural frame (vertical)	*5*
COVERING	Surface painting of plaster ceilings and/or plaster	107	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	*10*
COVERING	Continuous false ceiling in plasterboard Knauf type plasterboard, system D11	21868	KG	100	Gypsum	Internal ceiling finishes (incl. suspended/access ceilings)	*10*
DOOR	Glass display with 250x400mm dimension	11	KG	100	Glass	Internal doors	*15*
DOOR	Fronts and doors of shower cabins and WC in phenolic panels with melamine type Fundermax with 12mm thick	147	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Internal doors	*15*
DOOR	Doors 1.05 x 2.10m (width x height) - 1 hinged door with 1 sheet	680	KG	100	Timber or timber based	Internal doors	*15*
DOOR	Gates, type Electrocele, consisting of panels electroplated steel plate	12308	KG	100	Metal	Internal doors	*15*
EXTERNAL WALL	Madremax type madres	90243	KG	100	Metal	External walls (envelope, structure and finishes)	*1*
EXTERNAL WALL	Sandwich panel type ACH PF1 F0 MIC - Class M acoustic	121617	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	External walls (envelope, structure and finishes)	*1*
EXTERNAL WALL	Reinforced concrete walls C30 / 37, XC1 (P), Cl 0.40, Dmax 22	1666744	KG	100	Concrete or cementitious	External walls (envelope, structure and finishes)	*1*
FOUNDATION	Waterproofing and protection of buried concrete elements with the application of two crossed coats of bituminous emulsion type Inertol F	838	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Foundations (including excavation)	*3*
FOUNDATION	Concrete manhole	3491279	KG	100	Concrete or cementitious	Foundations (including excavation)	*3*
FOUNDATION	Excavation and embankment	1,5E+07	KG	100	Stone or aggregate	Foundations (including excavation)	*3*
HORIZONTAL FINISH	Gray ceramic tiles, Essence model, with dimensions 60x60cm	886	KG	100	Clay Based	Internal floor finishes (incl. access floors)	*4*
HORIZONTAL FINISH	Application of floor covering as vinyl with 2mm thick	1146	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Internal floor finishes (incl. access floors)	*4*
HORIZONTAL FINISH	CRATE SPACE 1 carpet flooring 50 X 50 C	1771	KG	100	Animal fibre or skin, cellulose fibre	Internal floor finishes (incl. access floors)	*4*

HORIZONTAL FINISH	Raised floor, consisting of 20mm thick railing, with support structure in galvanized steel	2786	KG	100	Metal	Internal floor finishes (incl. access floors)	*4*
INTERNAL WALL	Stainless steel floor support structure (0,20 x2,15) 2mm	74	KG	100	Metal	Internal walls and partitions	*11*
INTERNAL WALL	Fronts and doors of shower cabins and WC in phenolic panels with melamine type Fundermax with 12mm thick	990	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Internal walls and partitions	*11*
INTERNAL WALL	22mm MDF cabinet fronts, lacquered with 2 sheets	3392	KG	100	Timber or timber based	Internal walls and partitions	*11*
INTERNAL WALL	Laying of masonry in simple cloth of concrete blocks of 50x20x20cm, facing the view, laid with cement mortar and sand to the 1: 4 line	45630	KG	100	Concrete or cementitious	Internal walls and partitions	*11*
INTERNAL WALL	Execution of self-supporting coatings on Knauf type plasterboard	241796	KG	100	Gypsum	Internal walls and partitions	*11*
ROOF	Sandwich panel type ACH PF1 F0 MIC - Class M acoustic	2663	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	External solar shading devices, access structures etc.	*8*
ROOF	Metallic structure, in steel profiles S275JR	24633	KG	100	Metal	External solar shading devices, access structures etc.	*8*
ROOF	Concrete slab 400x400x36mm,	66731	KG	100	Concrete or cementitious	Roof (including coverings)	*12*
ROOF	Madremax 300x2,5mm cover	323002	KG	100	Metal	Roof (including coverings)	*12*
ROOF	Durock rock wool 386 * 80 mm	355980	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Roof (including coverings)	*12*
SITE	Flags with printing in 130gr polyester, dimensions 1350x900mm	1	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	*26*
SITE	NYLOFOR 3D sealing system of the BETAFENCE, consisting of 200x50mm electro-welded mesh panels	8341	KG	100	Metal	Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	*26*
SITE	Construction of reinforced concrete walls C25/30, XC2 (P), Cl 0.40, Dmax 22	543250	KG	100	Concrete or cementitious	Hard Landscaping, Fencing, Railings and Walls	*26*
SITE	Vertical signaling	103	KG	100	Metal	Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	*25*
SITE	Grass grills, hexagonal model, with dimensions 600x400x80mm	501776	KG	100	Concrete or cementitious	Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	*25*
SITE	Asphalt	1393111	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	*25*
SITE	Crushed aggregate of extensive granulometry in a granular base layer on exterior floors	4280703	KG	100	Stone or aggregate	Hard Landscaping, Roads, Paths and Pavings	*25*
SLAB	Metal joint type Projoint Bar S 10mm	3731	kG	100	Metal	Ground/lowest floor	*9*
SLAB	Sealing of retraction joints, comprising prior cleaning of the retraction joint and final sealing with polyurethane mastic type Sikaflex 11 FC	7242	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Ground/lowest floor	*9*
SLAB	Ground floor, with retraction joints, consisting of 17cm thick C25/30 S3 concrete, reinforced with 25Kg/m³ of metal fibers	7929084	KG	100	Concrete or cementitious	Ground/lowest floor	*9*
STAIRS	Hot rolled steel tube	133	KG	100	Metal	Balustrades and handrails	*14*
STAIRS	Metal stairs	16189	KG	100	Metal	Stairs and ramps	*13*
SYSTEMS	Signs of security the Sinalux brand	12	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Communication, Security and Control Systems	*19*

SYSTEMS	DDC controllers installed and electrified in a specific wall type frame	323	KG	100	Metal	Communication, Security and Control Systems	19
SYSTEMS	Condenser batteries for polluted networks, 200 kVAr	600	KG	100	Clay Based	Electrical Installations	20
SYSTEMS	ERFE tube	4514	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Electrical Installations	20
SYSTEMS	Monoblock concrete R10-10SPL 24 KV	13231	KG	100	Concrete or cementitious	Electrical Installations	20
SYSTEMS	Electrical cable	82008	KG	100	Metal	Electrical Installations	20
SYSTEMS	Concrete manhole	8	KG	100	Concrete or cementitious	Fire and Lightning Protection	21
SYSTEMS	Security signs of the Sinalux	58	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Fire and Lightning Protection	21
SYSTEMS	400ºC / 2H type centrifugal fan with anti-condensation insulation	10635	KG	100	Metal	Fire and Lightning Protection	21
SYSTEMS	Corrugated tube	2043	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	18
SYSTEMS	UTA air handling unit	31417	KG	100	Metal	Heat Source, Space Heating, Air Conditioning, Ventilation	18
SYSTEMS	Mirror for WC	6	KG	100	Glass	Sanitary Installations	24
SYSTEMS	Mixer OFA, Stillo series	201	KG	100	Metal	Sanitary Installations	24
SYSTEMS	Compact Quartz countertop with 20mm thickness	670	KG	100	Stone or aggregate	Sanitary Installations	24
SYSTEMS	Wall-hung toilet	1044	KG	100	Clay Based	Sanitary Installations	24
SYSTEMS	Emergency drainage (Trop-Plein)	3	KG	100	Other	Water and waste installations	23
SYSTEMS	Piping PEAD SDR13,6 PN10	11265	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Water and waste installations	23
SYSTEMS	Simple gutters in 1.2mm thick galvanized sheet, with development up to 1250mm	15686	KG	100	Metal	Water and waste installations	23
SYSTEMS	Execution of half cane with 400mm, with cement and sand mortar to the 1: 3 line	40679	KG	100	Concrete or cementitious	Water and waste installations	23
VERTICAL FINISH	Colorless float mirror with 5mm thickness	36	KG	100	Glass	Internal wall finishes	16
VERTICAL FINISH	Wall covering in GROSS GRAY VIROC 12mm thick	130	KG	100	Timber or timber based	Internal wall finishes	16
VERTICAL FINISH	Aluminum bar skirting, with a 60x10mm cross section	290	KG	100	Metal	Internal wall finishes	16
VERTICAL FINISH	Eternal type vinyl wall covering with 2.6mm thickness and with a 0.7mm thickness wear layer	1691	KG	100	Plastic, polymer, resin, paint, chemicals & bituminous	Internal wall finishes	16
VERTICAL FINISH	Ceramic tiles, Essence model with dimensions 60x60cm	1877	KG	100	Clay Based	Internal wall finishes	16
VERTICAL FINISH	Execution of plaster plastering on walls	19470	KG	100	Concrete or cementitious	Internal wall finishes	16
WINDOW	Base in galvanized sheet to support the KS2750DLK skylights Climate control	17314	KG	100	Metal	External windows and rooflights	2

ANEXO 3

ALTERAÇÕES EFETUADAS NOS 19 MATERIAIS NA PLATAFORMA ONE CLICK LCA

Peso (kg)	Cenário Ponderado: Material Inicial	Cenário Favorável	Modificações principais (CF)	Cenário Desfavorável	Modificações principais (CD)
7929084	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30, with CEM I, 0% recycled binders (280 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,11 kgCO_2e/kg	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30 with CEM III/A, 60% GGBS content (280 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0607 kgCO_2e/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 0 para 60%)	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C28/35 with CEM I, 0% recycled binders (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,12 kgCO_2e/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
4280703	Clay soil, compacted dry density, 1600 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 0,003 kgCO_2e/kg	Clay soil, loose dry density, 1280 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 0,003 kgCO_2e/kg	Diminui-se o peso volúmico, no entanto não provocou alterações a nível ambiental.	Clay soil, loose wet density, 1760 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 0,003 kgCO_2e/kg	Aumentou-se o peso volúmico que provocou um aumento do impacto ambiental de 3,8t para 77t.
3491279	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,11 kgCO_2e/kg	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0837 kgCO_2e/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 10 para 40%)	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C40/50, 0% recycled binders in cement (400 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,16 kgCO_2e/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
1819119	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,12 kgCO_2e/kg	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0837 kgCO_2e/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 0 para 40%)	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C40/50, 0% recycled binders in cement (400 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,16 kgCO_2e/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.

1758093	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C30/37, 20% recycled binders in cement (300 kg/m^3), incl. reinforcement. País: Portugal; GWP: 0,12 $kgCO_2e$/kg	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3), incl. reinforcement. País: Portugal; GWP: 0,10 $kgCO_2e$/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 20 para 40%)	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C40/50, 0% (typical) recycled binders in cement (400 kg/m^3), incl. reinforcement; País: Portugal; GWP: 0,18 $kgCO_2e$/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
1666744	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C30/37, 0% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m^3), incl. reinforcement; País: Portugal; GWP: 0,14 $kgCO_2e$/kg	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3), incl. reinforcement; País: Portugal; GWP: 0,10 $kgCO_2e$/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 0 para 40%)	Precast concrete wall elements (solid, uninsulated), generic, C40/50, 0% (typical) recycled binders in cement (400 kg/m^3), incl. reinforcement. País: Portugal; GWP: 0,18 $kgCO_2e$/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
1393111	Asphalt, generic, compacted, 5/95% bitumen-aggregate ratio, 2350 kg/m^3; País: Portugal; GWP: 0,073 $kgCO_2e$/kg	Asphalt AC16 hot mix, AC 16, AC16 surf 50/70 S (Collosa); País: Espanha; GWP: 0,0783 $kgCO_2e$/kg	Mudou-se a origem (de Portugal para Espanha) Houve uma diminuição de 298t para 243t de CO2eq	Asphalt roadway coating, 35 mm (OFFICE DES ASPHALTES); País: Portugal; GWP: 0,11 $kgCO_2e$/kg	Mudou-se a origem (de Portugal para França)
543250	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 0% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,12 $kgCO_2e$/kg	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0837 $kgCO_2e$/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 0 para 40%)	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C40/50, 0% recycled binders in cement (400 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,16 $kgCO_2e$/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.

501776	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C28/35 with CEM II/B-V, 30% fly ash content (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0899 $kgCO_2e/kg$	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C28/35 with CEM III/A, 60% GGBS content (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0641 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 30 para 60%)	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C35/45 with CEM I, 0% recycled binders (340 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,14 $kgCO_2e/kg$	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.
355980	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 150 kg/m^3, Lambda=0.037 W/(m.K); País: Portugal; GWP: 1,31 $kgCO_2e/kg$	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 50 kg/m^3, Lambda=0.0346 W/(m.K); País: Portugal; GWP: 1,20 $kgCO_2e/kg$	Diminui-se o peso volúmico de 150 para 50 kg/m3	Rock wool insulation panels, unfaced, generic, 200 kg/m^3, Lambda=0.039 W/(m.K); País: Portugal; GWP: 1,35 $kgCO_2e/kg$	Aumentou-se o peso volúmico de 150 para 200 kg/m3
323002	Structural steel profiles, generic, 90% recycled content (typical), I, H, U, L, and T sections. País: Portugal; GWP: 0,74 $kgCO_2e/kg$	Structural steel profiles, generic, 100% recycled content, I, H, U, L, and T sections. País: Portugal; GWP: 0,67 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de perfil metálico e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 90 para 100%)	Structural steel profiles, generic, 0% recycled content (only virgin materials), I, H, U, L, and T sections. País: Portugal; GWP: 3,21 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de perfil metálico e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 90 para 0%)
311547	Precast structural linear elements (pillars and beams), Compressive strength = 30-45 N/mm^2(Benders Byggsystem); País: Suécia; GWP: 0,25 $kgCO_2e/kg$	Precast concrete beams and columns, low carbon class B, C35/40 (B35 M45) (ElementPartner) ; País: Noruega; GWP: 0,13 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (Suécia para Noruega)	Precast concrete beams, C30/37 - C50/60, length 2000-11500 mm, cross-section: 400x200-9000x9000 (Skonto Prefab); País: Letónia; GWP: 0,59 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (Suécia para Letónia)
263575	Steel hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, S235-S960 (bauforumstahl); País: UE; GWP: 1,74 $kgCO_2e/kg$	Hot rolled steel rails, for transport application, 7850 kg/m^3 (ArcelorMittal); País: Espanha; GWP: 3,00E-4 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (Europa para Espanha)	Steel hot rolled, I, H, U, L, T and wide flats, FI average (Ruukki); País: Finlandia; GWP: 2,71 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (Europa para Finlândia)

241796	Gypsum plasterboard, 12.5 mm, 8.5 kg/m^2, 680 kg/m^3, L = 0.25 W/mK, R = 0.05 m^2K/W. País: Portugal; GWP: 0,38 $kgCO_2e$/kg	Gypsum plasterboard, 15.0 mm, 10.9 kg/m^2, 727 kg/m^3, L = 0.25 WmK, R = 0.06 m^2K/W. País: Portugal; GWP: 0,37 $kgCO_2e$/kg	Aumentando a espessura, o impacto ambiental diminui.	Gypsum plasterboard, 25 mm, Pladur H1 25 (YESOS IBERICOS S.A.); País: Espanha; GWP: 0,39 $kgCO_2e$/kg	Aumentou-se a espessura para 25mm e mudou-se a origem (de Portugal para Espanha)
121617	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 100 mm, 4.0 kg/m^2, R = 5.309 m^2K/W, L = 0.188 W/mK (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 9,15 $kgCO_2e$/kg	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 200 mm, 8.0 kg/m^2, R = 10.64 m^2K/W, L = 0.188 W/mK (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 6,90 $kgCO_2e$/kg	Aumentando a espessura, o impacto ambiental diminui.	Sandwich panel with PUR/PIR core and double steel siding, for roof application, 60 mm, 2.4 kg/m^2, R = 3.19 m^2K/W, L = 0.188 W/mK, Fire resistance class = B-s1, d0, (Saint-Gobain Transformados SAL); País: Espanha; GWP: 11,33 $kgCO_2e$/kg	Diminuindo a espessura, o impacto ambiental aumenta.
90243	Steel, cold formed, structural hollow sections, avg. EU (Ruukki); País: UE; GWP: 3,18 $kgCO_2e$/kg	Cold formed steel sheet piles, 7850 kg/m^3(ArcelorMittal); País: França; GWP: 2,44 $kgCO_2e$/kg	Mantave-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (Europa para França)	Steel, cold formed, structural hollow sections, avg. EU (Ruukki); País: UE; GWP: 3,18 $kgCO_2e$/kg	Manteve-se igual porque o considerado inicialmente já era a pior opção.
66731	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 10% (typical) recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,11 $kgCO_2e$/kg	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C30/37, 40% recycled binders in cement (300 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,0837 $kgCO_2e$/kg	Manteve-se a classe de betão e alterou-se a percentagem de reciclabilidade (de 10 para 40%)	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C40/50, 0% recycled binders in cement (400 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,16 $kgCO_2e$/kg	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.

45630	Concrete block, masonry, B40, 200x500x200/250 mm (CERIB); País: França; GWP: 0,0496 $kgCO_2e/kg$	Concrete masonry units, hollow blocks, German average, Lightweight, w. nat. aggregates, 1225 kg/m^3, Hohlblock; País: Alemanha; GWP: 0,0523 $kgCO_2e/kg$	Mantave-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (França para Alemanha) Houve uma diminuição de 6t para 2,4t.	Concrete block, masonry, 74x250x499 mm, SCAN Blokk (RC Beton); País: Dinamarca; GWP: 0,36 $kgCO_2e/kg$	Mantave-se o tipo de elemento e alterou-se a sua origem (França para Dinamarca)
40679	Ready-mix concrete, C16/20 X0 CEM II/A-S (SNBPE); País: França; GWP: 0,0521 $kgCO_2e/kg$	Ready-mix concrete, C16/20 X0 CEM II/A-S (SNBPE); País: França; GWP: 0,0521 $kgCO_2e/kg$	Manteve-se a mesma solução porque não inicialmente já se tinha utilizado o valor mais baixo.	Ready-mix concrete, normal-strength, generic, C20/25, 0% recycled binders in cement (240 kg/m^3); País: Portugal; GWP: 0,11 $kgCO_2e/kg$	Utilizou-se a classe de betão imediatamente superior e percentagem de reciclabilidade 0%.