



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa



ACADEMIA MILITAR  
DULCE ET DECORUM EST PRO PATRIA MORI

# **Impacte Ambiental de Estruturas de Edifícios - A Produção de CO<sub>2</sub>**

**Valter António Martins Henriques**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Militar**

## **Júri**

Presidente: Professor Augusto Martins Gomes  
Orientador: Professor Fernando António Baptista Branco  
Vogal: Professor Manuel Guilherme Caras Altas Duarte Pinheiro  
4º Membro do Júri: TCor Eng Albano Manuel Claro Azevedo da Silva

Outubro de 2011



## Resumo

Esta dissertação intitulada “Impacte Ambiental de Estruturas de Edifícios – A Produção de CO<sub>2</sub>” visa a realização de um estudo ambiental sobre o betão, de acordo com o método de Análise de Ciclo de Vida (ACV). Neste estudo foram apenas incluídas as fases do ciclo de vida do betão até à sua colocação em obra, ou seja, excluíram-se as fases de utilização e demolição da estrutura.

A origem e a qualidade dos dados utilizados, assim como os limites considerados na análise efectuada encontram-se pormenorizadamente descritos, para que se possa fazer uma leitura objectiva dos resultados finais, onde se trabalham os valores das emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> betão, e posteriormente são apresentados os resultados de emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso.

Em todo o processo de produção de betão, até este ser aplicado em obra, conclui-se que o transporte de todos os materiais e principalmente a produção de cimento contribuem em maior escala para a produção de CO<sub>2</sub>. De todos os cimentos analisados, os que contêm maior incorporação de clínquer são, os maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub>, pelo que todas as tentativas de reduzir a percentagem desta matéria-prima por m<sup>3</sup> de betão e de melhorar a eficiência durante a produção deste, devem ser consideradas.

## Palavras-Chave

Estruturas de Betão

Construção Sustentável

Dióxido de Carbono

Impacte Ambiental



## **Abstract**

This dissertation entitled "Environmental Impact of Building Structures - CO<sub>2</sub> Production" is an environmental study of concrete, according to the method of Life Cycle Analysis (LCA). This study only includes the stages of the life cycle of the concrete until it is placed on site, so, the use phase and demolition of the structure are excluded.

The origin and quality of data used and the limits considered in the analysis are described in detail, so an objective reading can be made of the final results, where the values of CO<sub>2</sub> emissions per 1m<sup>3</sup> of concrete are considered, and later the results of CO<sub>2</sub> emissions per 1m<sup>2</sup> of floor are presented.

Throughout the production process of concrete, until it is applied at the construction site, we conclude that the transport of all materials and especially cement production contribute to a greater extent in the production of CO<sub>2</sub>. Of all the cements tested, those containing greater incorporation of clinker are the largest emitters of CO<sub>2</sub>, so all attempts to reduce the percentage of this raw material per m<sup>3</sup> of concrete and improve efficiency during the production, should be seriously considered.

## **Keywords**

Concrete Structures

Sustainable Construction

Carbon Dioxide

Environmental Impact



## **Agradecimentos**

Gostaria de expressar o meu profundo agradecimento às seguintes pessoas que muito contribuíram para a realização desta dissertação:

Ao professor Fernando Branco, meu orientador, pela disponibilidade demonstrada, pelas sugestões dadas ao longo desta etapa, que sempre primaram pela sua grande simpatia.

Ao Eng.<sup>o</sup> Vítor Vermelhudo (SECIL), pela sua disponibilidade em me receber nas instalações da Fábrica SECIL Outão, por me ter descrito em pormenor o processo de fabrico e controlo de qualidade dos cimentos, e me possibilitar ter uma melhor percepção do funcionamento de uma fábrica de referência na indústria portuguesa.

Ao Eng.<sup>o</sup> Manuel Vieira (LNEC), e Professores Jorge de Brito (IST) e Said Jalali (UM), pelo auxílio prestado, ainda durante a importante fase inicial de pesquisa, a nível bibliográfico.

Ao Professor Arnaldo Cardim Filho (Universidade de Pernambuco), pela pronta disponibilidade em ceder artigos/trabalhos seus, que em muito enriqueceram esta dissertação.

Ao Professor Rod Stuart (AM), pela ajuda prestada na revisão atenta dos textos em inglês.

Aos meus Camaradas de curso da Academia Militar e colegas de curso do Instituto Superior Técnico, com os quais foi um prazer trabalhar, estudar e divertir.

À minha família, em especial aos meus Pais, por todo o apoio incondicional ao longo de todo o curso, e ao longo de toda a vida.

A todos o meu muito obrigado!



# Índice

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objectivos .....	2
1.3. Organização .....	3
<b>2. ENQUADRAMENTO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Alterações Climáticas Globais.....	5
2.1.1. Projecções Futuras da Temperatura.....	6
2.1.2. Gases de Efeito de Estufa.....	7
2.1.3. Dióxido de Carbono Equivalente (CO <sub>2</sub> eq) .....	8
2.1.4. Impactes de Futuras Alterações Climáticas .....	8
2.1.5. Resposta à Mudança do Clima .....	10
2.1.6. Comércio das Emissões de CO <sub>2</sub> .....	12
2.2. O Betão e o Meio Ambiente .....	14
2.2.1. A Insustentabilidade da Situação Actual .....	14
2.2.2. Utilização de Resíduos.....	14
2.2.3. Durabilidade do Betão .....	15
2.2.4. Produção de Cimento.....	17
2.2.5. Adições .....	19
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida.....	23
2.3.1. As Normas ISO.....	26
2.3.2. ACV Segundo as Normas ISO .....	27
2.3.3. Ferramentas de ACV.....	29
2.3.4. Vantagens da ACV .....	30
2.3.5. Desvantagens da ACV .....	30

<b>3. BETÃO – DESCRIÇÃO GERAL .....</b>	<b>33</b>
3.1. Matérias-primas.....	34
3.1.1. Cimento .....	34
3.1.2. Agregados .....	36
3.1.3. Adições/ Adjuvantes .....	37
3.1.4. Água .....	38
<b>4. MODELO DE IMPACTE PARA ESTRUTURAS DE BETÃO .....</b>	<b>39</b>
4.1. Caracterização Geral.....	39
4.1.1. Âmbito de Análise.....	39
4.2. Considerações Sobre os Elementos de Base .....	43
4.2.1. Cimento .....	43
4.2.2. Energia Eléctrica.....	44
4.2.3. Água .....	47
4.2.4. Veículos e Equipamentos.....	47
4.3. Caracterização da Produção de CO <sub>2</sub> .....	48
4.3.1. Cimento .....	48
4.3.2. Electricidade e Equipamentos .....	51
4.3.3. Veículos e Equipamentos .....	52
<b>5. APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO.....</b>	<b>55</b>
5.1. Estrutura de Referência.....	55
5.2. Cimento .....	56
5.3. Agregados .....	57
5.4. Água .....	57
5.5. Areia .....	58
5.6. Cofragem .....	58
5.7. Central de Betonagem.....	59
5.8. Escavação .....	59
5.9. Colocação do Betão em Obra .....	60
5.10. Valores por m <sup>3</sup> de Betão .....	60
5.11. Valores por m <sup>2</sup> de Piso .....	63
5.12. Análise dos Resultados Obtidos.....	64

5.13. Folha de Cálculo - Programa de Cálculo das Emissões de CO <sub>2</sub> Emitido na Construção da Estrutura de um Edifício.....	66
<b>6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....</b>	<b>71</b>
6.1. Conclusões .....	71
6.2. Desenvolvimentos Futuros .....	72
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>77</b>
ANEXO 1 - Constituintes Principais do Cimento, Segundo a Norma NP EN 197.....	79
ANEXO 2 - Diagrama do Fabrico do Cimento .....	81
ANEXO 3 - Consumo da Matéria-prima .....	83
ANEXO 4 - EDP Serviço Universal.....	85
ANEXO 5 - Eficiência Energética de Instalações Elevatórias .....	87
ANEXO 6 - Inventários da Produção de Cimento .....	89
ANEXO 7 - Consumo de Combustível.....	105
ANEXO 8 - Cálculos Intermédios .....	107



## Índice de Figuras

Figura 1 - À esquerda: Evolução da população mundial no último milénio [1]; À direita: Historial e previsão da concentração atmosférica de CO <sub>2</sub> [2].	2
Figura 2 - Projecção do aquecimento da superfície [3].	6
Figura 3 – Evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de CO <sub>2</sub> atmosférico [5].	7
Figura 4 – Efeito do tipo de cimento no desempenho de durabilidade da estrutura [10].	16
Figura 5 – Processo simplificado do fabrico do cimento. Adaptado de [11].	17
Figura 6 – Evolução da energia usada nos fornos de cimento nos anos de 1973 a 2000 et al.[11].	19
Figura 7 – Inputs e outputs do ciclo de vida da produção de betão. Adaptado de [20].	24
Figura 8 - Ciclo de vida típico de um edifício [21].	25
Figura 9 – Constituição do betão	34
Figura 10 – Matéria-prima: a) Marga; b) Crú; c) Clínquer; d) Cimento.	35
Figura 11 - Estrutura do sistema de energia eléctrica [29].	45
Figura 12 - Evolução Mensal da Energia Eléctrica Consumida, por Tecnologia (ano de 2010).	46
Figura 13 – Quantidade de CO <sub>2</sub> equivalente emitido por quilo de cimento.	49
Figura 14 – Fases de processamento das árvores [31].	53
Figura 15 – Edifício tipo considerado.	55
Figura 16 - Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão por tipo de actividade (percentagem).	61
Figura 17 - Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão por processo principal (percentagem).	62
Figura 18 - Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de piso (gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> piso).	63
Figura 19 – Folha de Cálculo – página de inserção dos dados.	68
Figura 20 – Tabelas finais (programa de cálculo).	69



## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Histórico de valores das licenças de emissão de CO <sub>2</sub> [8].	13
Tabela 2 – Conjunto de normas da série ISO 14000 [23].	26
Tabela 3 – Categorias de impacto, adaptado de Josa, et al. (2007).	28
Tabela 4 – Tipos de cimentos [28].	36
Tabela 5 - Cronograma das actividades consideradas	42
Tabela 6 – Tipo de cimentos considerados.	44
Tabela 7 – Quantidade de CO <sub>2</sub> equivalente emitido por quilo de cimento e por m <sup>3</sup> de betão.	48
Tabela 8 - Impacto Ambiental - Emissões Específicas (EDP, em 2010).	51
Tabela 9 – Proporções para um betão comum para construção de habitações.	56
Tabela 10 – Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “cimento”.	56
Tabela 11 – Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “agregados”.	57
Tabela 12 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “água”.	57
Tabela 13 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “areia”.	58
Tabela 14 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “cofragem”.	58
Tabela 15 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “Central de Betonagem”.	59
Tabela 16 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “escavação”.	59
Tabela 17 - Emissões de CO <sub>2</sub> derivadas da actividade “obra”.	60
Tabela 18 – Tabela resumo das emissões de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão.	60
Tabela 19 - Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão por processo principal.	62
Tabela 20 – Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de piso.	63



# Abreviaturas

ACV – Análise de Ciclo de Vida

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão

EDP – Energias de Portugal

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Águas

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GWP – Global Warming Potential

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

ISO – International Organization for Standardization

PNALE - Planos Nacionais de Atribuição de Licenças de Emissão

PRE – Produção em Regime Especial

SC - Subcommittees

TC – Technical Committees

UE – União Europeia

UNEP – United Nations Environmental Programme

WMO – World Meteorological Organization



# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1. Motivação

A escolha do tema desta dissertação surge na sequência do aumento da atenção mundial para a poluição resultante das actividades humanas, prejudiciais ao equilíbrio natural do ambiente, o que motivou o interesse do autor pela procura de uma construção mais sustentável. Numa época em que é notória uma preocupação mundial sobre este tema, torna-se relevante aprofundar e divulgar esta matéria com recurso a exemplos que podem ser aplicados na construção civil com vista a obter soluções que impliquem menores impactes sobre o ambiente.

Antes de abordar o tema do impacto ambiental relacionado com a produção e aplicação do betão, torna-se necessário tomar consciência acerca da relação entre este e as escolhas tecnológicas que são feitas hoje em dia. Assim sendo, Mehta (2001) e Holdren/Erlich citados por Habert (2010) sugerem que se tome a expressão abaixo que mostra os danos ambientais ( $D$ ) em função de três outros parâmetros:

$$D = f(P, I, W) \quad (1)$$

onde  $P$  significa população,  $I$  é o índice do crescimento industrial e urbano e  $W$  é um indicador do grau a que a cultura promove o desperdício dos recursos naturais e pode ser associado ao aumento do nível de vida.

Na Figura 1 é possível verificar o aumento exponencial das emissões de  $\text{CO}_2$  durante o século XXI que é avaliado através da estimativa do crescimento da população de 6 para 9 mil milhões, do desenvolvimento industrial e das crescentes taxas de urbanização registadas. Esta dissertação pode, portanto, contribuir para uma melhor compreensão sobre os aspectos que permitem controlar o parâmetro  $W$ , que tem um efeito multiplicativo no cálculo do dano ambiental, tornando-se possível, controlar os danos gerados por este. Para tal torna-se necessário sensibilizar e informar tanto o consumidor comum, como os profissionais do sector da construção, acerca dos modelos e escolhas económicas e tecnológicas que possibilitam um consumo regrado da energia e dos recursos naturais.

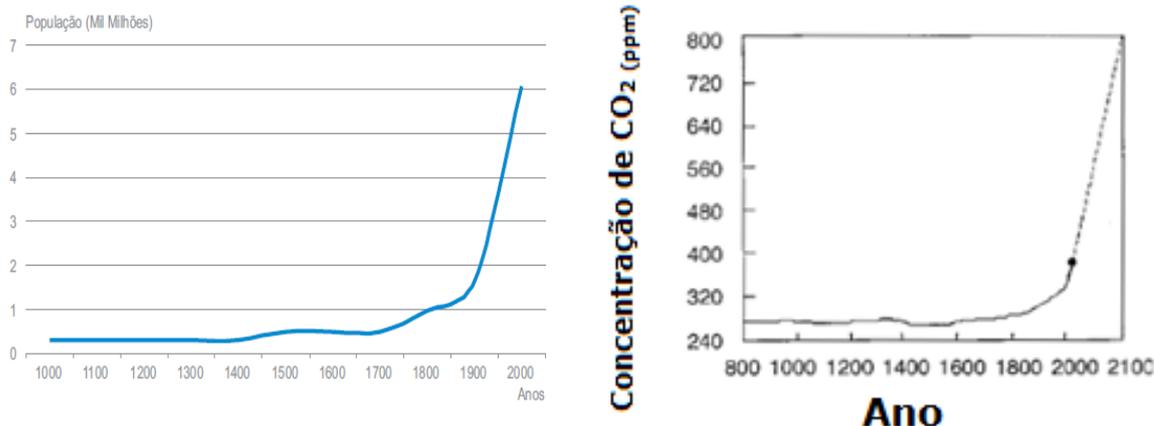


Figura 1 - À esquerda: Evolução da população mundial no último milénio [1]; À direita: Historial e previsão da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> [2].

## 1.2. Objectivos

O principal propósito da presente dissertação é determinar o “custo” de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso de construção. Para tal, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre os principais impactes climáticos causados pela acção do Homem, onde se incluem os impactes da indústria da construção, e de possíveis contribuições para a sustentabilidade na construção. Desta forma, pretende-se divulgar, segundo uma Folha de Cálculo, alternativas ao betão comum, isto é, dar a conhecer alternativas ao betão de cimento Portland, comumente utilizado na construção civil a nível nacional, responsável por grandes impactes nocivos no meio ambiente, nomeadamente na forte emissão de CO<sub>2</sub>. Por conseguinte, este trabalho procura funcionar como uma ferramenta fácil de consultar e analisar, onde é criado um modelo de inventário centrado apenas na estrutura de uma construção. O modelo disponibilizado (consultar Folha de Cálculo) pode ser consultado e actualizado sempre que necessário, com vista a proceder a alterações dos dados previamente estabelecidos, para que possa ser adaptado a uma situação real. Através da análise e quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de todos os materiais e processos que dão origem à estrutura de uma construção em betão, pretende-se dar resposta a uma sociedade cada vez mais sensibilizada para os temas ambientais.

Como tal, os principais objectivos desta dissertação são:

- Realizar uma pesquisa relativamente às emissões de CO<sub>2</sub> até à colocação em obra do betão e dos seus constituintes desde a extracção da matéria-prima;
- Dar a conhecer alternativas menos poluentes ao betão corrente (de cimento Portland);

- Avaliar quais as maiores fontes de emissões de CO<sub>2</sub> até à colocação do betão em obra;
- Elaborar uma Folha de Cálculo em Excel que, em função de determinados parâmetros, seja capaz de apresentar as emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão e por m<sup>2</sup> de piso de um edifício tipo.

### 1.3. Organização

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, a saber:

Capítulo 1 – **Introdução** - Apresenta a temática geral do estudo, motivação e objectivos. É ainda apresentada a estrutura e organização do trabalho.

Capítulo 2 – **Enquadramento** - É realizado um enquadramento geral do tema, onde se começa por referir a temática relativa às consequências da construção, segundo o vector das alterações climáticas. É abordado o tema do actual comércio internacional das emissões de CO<sub>2</sub>, das possibilidades de tornar o betão menos poluente pelo uso de adições, e por fim, é também explanado o método de Análise do Ciclo de Vida utilizado para a realização da análise dos impactes ambientais até à colocação do betão em obra.

Capítulo 3 – **Betão – Descrição Geral** - Essencialmente é apresentada uma descrição geral acerca dos constituintes do betão.

Capítulo 4 – **Modelo de Impacte para Estruturas de Betão** - É tratada toda a informação útil, referente à análise de estruturas de betão, utilizada no caso de estudo.

Capítulo 5 – **Aplicação a um Caso de Estudo** – Neste capítulo, é analisado um caso de estudo de um edifício tipo de habitação. São apresentados os valores finais de emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão, referentes aos diversos processos envolvidos na sua produção e colocação em obra, e finalmente por m<sup>2</sup> de piso. No final, é ainda explanado como foi produzida, e como pode ser utilizada, a Folha de Cálculo usada para esta análise.

Capítulo 6 - **Conclusões e Desenvolvimentos Futuros** - Por fim, são apresentadas as principais conclusões desta dissertação e fazem-se recomendações de desenvolvimentos académicos futuros.



# Capítulo 2 - Enquadramento

## 2.1. Alterações Climáticas Globais

O clima desde sempre esteve sujeito a períodos de mudanças intensas em algumas fases da história do Planeta Terra. Contudo, é inegável que o clima tem sofrido alterações rápidas, levando os cientistas a considerarem a situação actual. Muitos progressos têm sido feitos relativamente à compreensão das mudanças climáticas que têm surgido nos últimos tempos, através do registo e análise de inúmeras medições a nível mundial. O Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas<sup>1</sup> (IPCC) refere-se à mudança de clima como sendo uma variação das propriedades do clima e a sua persistência durante um período de tempo, normalmente décadas ou mais. Esta variação da composição atmosférica global pode dever-se a causas naturais ou à actividade humana.

O aquecimento geral do clima é inequívoco, pois verifica-se a ocorrência cada vez mais frequente de catástrofes naturais, que têm um grande impacto tanto a nível social, através da perda de vidas, como a nível económico. Nas últimas décadas tem-se observado o aumento da temperatura atmosférica e dos oceanos, assim como um rápido derretimento das camadas glaciares e o conseqüente aumento global do nível do mar<sup>2</sup>. Nos últimos anos, por exemplo, têm-se verificado na Europa ondas de calor intensas nunca antes registadas, que têm despertado o interesse de todo o mundo para as questões relacionadas com o aquecimento global e mudanças climáticas [3][4].

Os temas anteriormente mencionados têm sido bastante mediatizados, tanto pela comunidade científica, como em livros, *web sites*, filmes, programas de televisão e de rádio, e todos eles convergem numa ideia base: os nossos hábitos terão de ser alterados de forma a reduzir os impactos a que temos sujeito o ambiente, caso contrário poder-se-á esperar-nos um futuro cheio de calamidades resultantes das respostas da natureza. Este trabalho aborda, portanto, aspectos relacionados com a indústria da construção, nomeadamente, a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelos diferentes tipos de betão até à sua colocação em obra.

---

<sup>1</sup> Estabelecido pela Organização das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e aprovado pela Assembleia Geral da Nações Unidas.

<sup>2</sup> No aumento do nível do mar não são tidos em conta os Tsunamis, mas sim o nível médio do mar e as condições locais climatéricas.

### 2.1.1. Projecções Futuras da Temperatura

Para o século XXI, o IPCC prevê um aumento da temperatura atmosférica, do nível do mar e uma redução do número de dias frios, assim como variações na frequência, um aumento de intensidade e duração de casos climáticos extremos como ondas de calor, duração das estações secas, ou fortes chuvas e tempestades. Este organismo apresenta, na Figura 2, uma projecção sobre o aumento da temperatura superficial da terra de acordo com diferentes cenários possíveis.

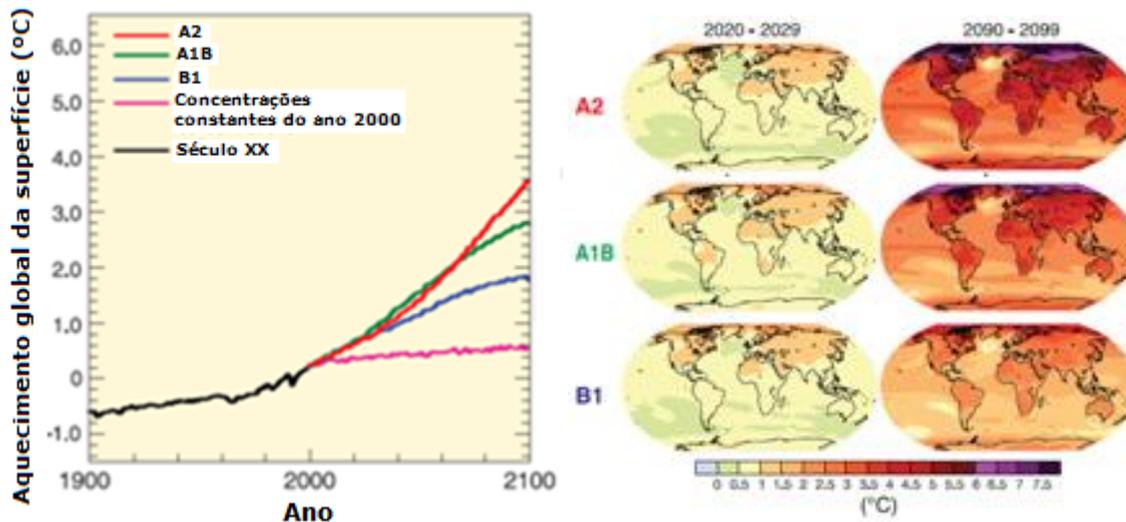


Figura 2 - Projecção do aquecimento da superfície [3].

A figura acima baseia-se nos seguintes pressupostos, de acordo com os seguintes cenários:

**A2** – É uma previsão que descreve um mundo muito heterogéneo, com forte crescimento populacional, baixo desenvolvimento económico e lentos avanços na tecnologia;

**A1B** – É um cenário que assume um mundo em rápido crescimento económico; uma população mundial que atinge o seu máximo em meados do século e um rápido avanço a nível de novas e mais eficientes tecnologias, onde existe um equilíbrio entre fontes renováveis e não renováveis;

**B1** – Trata-se de um mundo convergente com a mesma população de A1, mas com mudanças mais rápidas a nível económico em prol de uma economia de serviços e de informação.

É evidente em qualquer dos casos o aumento da temperatura superficial da terra. O aumento de temperatura decorrente da poluição, somada à sobre-exploração de recursos, irá ser responsável por inúmeros impactes sem precedentes sobre muitos ecossistemas.

Na Figura 2, o aumento generalizado da temperatura é claro, sendo mais evidente um aumento significativo nas latitudes mais a Norte, assim como um aquecimento maior das regiões terrestres em relação aos oceanos.

### 2.1.2. Gases de Efeito de Estufa

A Humanidade, desde os tempos pré-industriais, tem causado um grande crescimento das emissões dos Gases de Efeito de Estufa (GEE), sendo os mais importantes, referidos no Protocolo de Quioto, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), os hidrofluorcarbonetos (HFC), os perfluorcarbonetos (PFC) e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Entre estes, o  $\text{CO}_2$  é o gás com maior impacto que tem vindo a ser gerado pelo Homem. As concentrações atmosféricas de GEE aumentam quando as emissões superam a capacidade do processo de remoção, sendo que este tipo de gases, quando se encontram em elevadas concentrações atmosféricas, forçam uma resposta por parte do clima. Na Figura 3 é possível observar a relação existente entre o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera e o conseqüente aumento da temperatura.

Para esta desregulação do ciclo natural do carbono, em muito contribuem as sociedades industrializadas, pois uma grande fatia das emissões atmosféricas de  $\text{CO}_2$  é derivada da queima de combustíveis fósseis, e a desflorestação, que afecta a capacidade de sequestro do carbono e dos fluxos de  $\text{CO}_2$  na atmosfera.

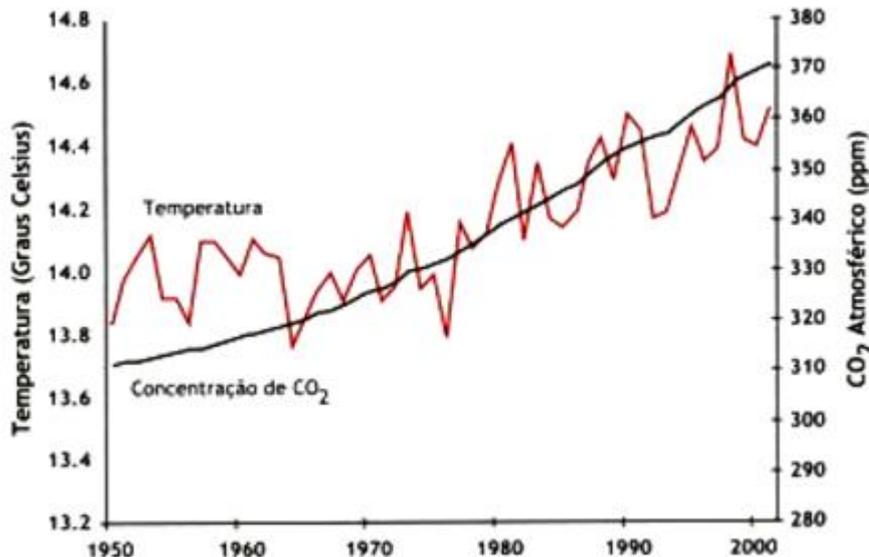


Figura 3 – Evolução do aumento de temperatura global média com o nível de concentração de  $\text{CO}_2$  atmosférico [5].

### **2.1.3. Dióxido de Carbono Equivalente (CO<sub>2</sub> eq)**

Os gases com efeito de estufa não têm todos a mesma influência a nível de ‘força radioactiva’<sup>3</sup> no aquecimento global, devido às suas diferentes propriedades e tempo expectável de vida na atmosfera. Portanto, a influência no aquecimento é geralmente expressa através de uma unidade baseada no poder de aquecimento do CO<sub>2</sub>:

- A emissão de CO<sub>2</sub> equivalente é a quantidade de Gases de Efeito de Estufa emitida que, quando multiplicada pelo factor de Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential), nos permite obter a quantidade de CO<sub>2</sub> que irá causar a mesma força radioactiva para um determinado tempo horizonte. No caso de se ter uma mistura de vários gases deste tipo, a sua contabilização é feita somando a contabilização do CO<sub>2</sub> equivalente. A emissão de CO<sub>2</sub> equivalente é uma medida útil para comparar diferentes emissões de GEE, no entanto isto não significa que se obtenham as mesmas mudanças climáticas.
- A concentração de CO<sub>2</sub> equivalente é a concentração de CO<sub>2</sub> que iria causar a mesma quantidade de força radioactiva que uma mistura de CO<sub>2</sub> e de outros componentes de GEE.

### **2.1.4. Impactes de Futuras Alterações Climáticas**

O grande crescimento da população mundial, a conseqüente urbanização, e sua tentativa de aproximação a um nível de vida idêntico ao das sociedades ocidentais, ditas mais desenvolvidas, tem sido feita com custos associados a grandes pressões exercidas a nível de materiais e de energia. Estes factores têm sido associados às alterações climáticas, podendo o impacte destas ser analisado sob os mais diversos aspectos:

- Ecossistemas
  - A fauna, a flora e os organismos desempenham um papel essencial na conservação da estabilidade dos ciclos naturais. Durante este século espera-se que o limite de muitos ecossistemas seja atingido por um conjunto de eventos associados a distúrbios climáticos como inundações, secas, incêndios, acidificação dos oceanos, etc;

---

<sup>3</sup> Força radioactiva é o peso que um factor tem na alteração do equilíbrio de energia de entrada e saída no sistema Terra-Atmosfera.

- Ao longo deste século é provável que a máxima capacidade de absorção de carbono pelos ecossistemas terrestres seja atingida antes mesmo de meados do século, seguida de um acentuado decréscimo de absorção, devido a extinção de espécies vegetais, que irá ampliar ainda mais as mudanças climáticas;
  - 20 a 30% das espécies animais e vegetais conhecidas hoje em dia correm o risco de serem classificadas como espécies em vias de extinção, caso se verifique um aumento de temperatura superior à média esperada de 1,5 a 2,5°C durante o século XXI.
- 
- Zonas costeiras
    - Prevê-se que as costas marítimas sejam expostas a grandes riscos devido à erosão da costa e ao aumento do nível do mar, causando inundações, derivado das mudanças climáticas, facto este que se antevê agravado pela contínua pressão da construção nas zonas costeiras por parte do Homem.
- 
- Indústria e sociedade
    - As indústrias e sociedades mais vulneráveis serão aquelas que se encontram junto de zonas costeiras ou de zonas propensas a inundações de rios e cuja economia esteja directamente ligada com recursos que sejam dependentes do clima. As comunidades mais pobres poderão ser especialmente vulneráveis, particularmente as situadas nas referidas zonas de alto risco.
- 
- Saúde
    - A atmosfera é prejudicada não só pelo excesso de CO<sub>2</sub> como de outros gases. Este facto pode por em risco o estado de saúde de milhões de pessoas através do crescente número de casos de doenças cardio-respiratórias, derivadas de uma maior concentração de ozono ao nível terrestre nas áreas urbanas, podendo ainda verificar-se uma alteração espacial da distribuição de algumas doenças infecciosas;
    - Espera-se que a mudança esperada no clima traga alguns benefícios em zonas temperadas, como uma diminuição do número de mortes por exposição ao frio. Contudo, espera-se que os impactes negativos devido à subida das temperaturas sejam mais significativos, especialmente em países em desenvolvimento;

- Doenças poderão surgir em novos locais, em consequência das alterações climáticas proporcionarem condições favoráveis para a sobrevivência de mosquitos e parasitas.
- Água
    - O tema da água toma particular relevância. Apenas 0,01% da água existente no nosso planeta é considerada potável. Prevê-se que as mudanças climáticas poderão acentuar a pressão já existente sobre a água devido ao contínuo crescimento da população mundial e devido a mudanças do uso da terra, onde também se inclui a crescente urbanização que contribui para a sua contaminação e diminuição das reservas;
    - A um nível mais regional, a quantidade de neve existente nas montanhas, glaciares e aglomerados de gelo existentes desempenham um papel importante na quantidade de água potável disponível;
    - A velocidade de perda de dimensões dos glaciares e reduções das camadas de neve das últimas décadas prevêem-se que aumentem neste século, reduzindo desta forma a quantidade de água disponível e afectando mais significativamente as regiões que dependem da água que ciclicamente derrete das montanhas.
  - Económicos
    - Tempestades, inundações e ondas de calor, poderão ter efeitos económicos directos. Relacionados com estes, poderão surgir alterações relativas à agricultura, à biodiversidade, à saúde, ao turismo, ao consumo de energia e água, etc. Quanto maior for a frequência e o nível de risco dos factos descritos, mais significativos serão os custos económicos associados.

### **2.1.5. Resposta à Mudança do Clima**

As sociedades deverão responder às mudanças de clima verificadas adaptando-se aos impactes já causados e reduzindo as emissões de GEE, para que se evitem ampliações futuras nas mudanças do clima, pelo que neste trabalho é abordado um tema relacionado com a sustentabilidade na construção. Tal como preconizado pelo Protocolo de Quioto, do qual Portugal é um Estado Membro, uma forma de controlar as alterações que se projectam é precisamente tentar estabilizar e reduzir

as concentrações dos GEE, o que pode ser alcançado na indústria da construção tomando conhecimento acerca das tecnologias e medidas de optimização de produtos e processos.

As alterações climáticas previstas e os respectivos efeitos catastróficos terão custos sociais e económicos de reparação e adaptação muito elevados nas sociedades. É, assim, necessário ponderar se não será preferível dar uma resposta pronta a estas questões controlando as emissões actuais, a médio e longo prazo, dando relevo a políticas e investimentos que apoiem estudos científicos.

Muitas das respostas adaptativas que terão de ser levadas a cabo pelos diversos países, mais em concreto pelos países desenvolvidos e pelos países em vias de desenvolvimento, terão obrigatoriamente de passar pelos campos de [6][7]:

- **Geração de energia** – Melhoria na eficiência; Fontes eléctricas para aquecimento e electricidade (hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, bioenergética); Captura e armazenamento do carbono; etc.
- **Economia** – Mudança para uma economia pobre em carbono, menos dependente do petróleo e do gás; Diversificação das economias; etc.
- **Tecnologias** – Sistemas fiáveis de aviso de calamidades; Sério investimento na investigação; Monitorização e recolha de dados de todos os elementos básicos relacionados com o clima, a nível atmosférico, dos oceanos, terrestre, alterações registadas na natureza, etc.
- **Transportes** – Mais veículos com combustível eficiente; Maior adesão ao sistema público de transporte; Veículos eléctricos e híbridos com baterias mais potentes e confiáveis; etc.
- **Edifícios** – Iluminação eficiente com aproveitamento da luz natural; Melhoria no isolamento térmico; Equipamentos de aquecimento/ arrefecimento mais eficientes; etc.
- **Indústria** – Maior controlo das emissões de gases; Recuperação de calor; Reciclagem e substituição de materiais; etc.
- **Agricultura** – Revitalização de solos degradados; Melhoria da produtividade das plantações; Melhores técnicas de cultivo; etc.

- **Florestas** – Reflorestação; Controlo de produtos de madeira plantada; Melhoria das espécies arbóreas para aumentar a produtividade da biomassa e o sequestro de carbono; etc.
- **Lixo** – Apostar na reciclagem dos materiais; Incineração de lixo com recuperação de energia; Minimização da produção de lixo; etc.

### 2.1.6. Comércio das Emissões de CO<sub>2</sub>

As emissões de carbono são um dos grandes desafios ambientais que a sociedade actual tem de fazer face, sendo que estas ocupam claramente um lugar de destaque no tema das alterações climáticas verificadas no nosso planeta. Actualmente ocupam também um lugar de relevo na questão económica, uma vez que estão previstas, pela União Europeia (UE), penalizações financeiras para quem ultrapassa as emissões permitidas: os agentes sectoriais que não cumpram os compromissos assumidos serão sujeitos a uma sanção monetária por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida a mais, e serão forçados a comprar no mercado de emissões de CO<sub>2</sub> as respectivas licenças, que compensem as emissões adicionais [8].

O Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) é uma ferramenta estratégica na luta contra as alterações climáticas, por parte da UE. O seu principal objectivo é o de auxiliar os Estados Membros da UE a cumprir os compromissos assumidos relativamente ao Protocolo de Quioto.

*“O CELE é um regime de comércio de licenças de emissão com fixação prévia dos limites máximos (cap and trade), ou seja, estabelece um limite máximo que não deve superar as emissões globais mas, dentro desse limite, permite aos participantes neste comércio comprar e vender licenças de emissão segundo as suas necessidades.” [8]*

Este regime poderá ser aplicado, acima de certos níveis de capacidade nas centrais eléctricas e outras instalações de combustão, as refinarias de hidrocarbonetos, as fábricas de produção de ferro e aço, as fábricas de cimento, vidro, cal, azulejos, cerâmica, papel, pasta de papel e cartão.

Os estados membros elaboram os Planos Nacionais de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE), que fixam o número de licenças de emissão, de forma a proteger o mercado interno<sup>4</sup>. Através da imposição de um número máximo de licenças cria-se escassez no mercado, e desenvolve-se o conceito de compra e venda dessas licenças. O preço pode variar consoante a oferta e a procura, o clima, a situação político-económica e o volume de atribuições a nível europeu, sendo o seu valor considerado bastante volátil, como se de uma Bolsa de Valores se tratasse

---

<sup>4</sup> Em Portugal, os PNALE são estabelecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

(Tabela 1). Assim, países/ agentes sectoriais que emitem uma menor quantidade de CO<sub>2</sub> do que as licenças o permitem, podem ainda vender essas mesmas licenças a qualquer outro país/ agente sectorial pertencente à UE e ficar a lucrar. Os restantes países/ agentes sectoriais poderão optar entre comprar essas licenças excedentes ou, investir em tecnologias que permitam reduzir as suas emissões, e na formação dos seus funcionários. O principal objectivo é o de tornar a primeira opção bastante mais dispendiosa do que o investimento em tecnologias mais limpas. Com esta flexibilidade, tanto as instalações que vendem, como as que compram direito às emissões ficam a beneficiar, sem que o limite ambiental global de emissões pré-estabelecido seja lesado. É desta forma que a atribuição de licenças irá promover as tecnologias com poucas emissões de carbono.

**Tabela 1 - Histórico de valores das licenças de emissão de CO<sub>2</sub> [8].**

<b>Data</b>	<b>Valor por licença</b>
2 de Janeiro 2005	€ 7,0
19 de Abril 2006	€ 30,5
29 de Dezembro 2006	€ 6,55
2 de Janeiro 2007	€ 5,85
30 de Dezembro 2007	€ 0,03
25 de Julho 2008	€ 24,75

A atribuição de licenças tem sido feita por períodos de comércio,

- 1ª Fase – 2005 a 2007<sup>5</sup>,
- 2ª Fase – 2008 a 2012,
- 3ª Fase – 2013 a 2020,
- 4ª Fase – 2021 a 2028.

A partir do ano de 2013 a atribuição de licenças em toda a UE irá progressivamente ser reduzida linearmente a cada ano. As licenças atribuídas até então sem custos irão diminuir significativamente passando a ter de ser compradas pelas empresas. Até 2050 esperam-se reduções nas emissões de 60% a 80%, em comparação com o ano de 1990, e acredita-se que se irá alcançar o objectivo de limitar o aumento médio da temperatura mundial a 2 °C relativamente aos níveis pré-industriais.

---

<sup>5</sup> Período experimental (gratuito), com vista a preparar o início do regime de comércio de emissões das Fases seguintes.

## **2.2. O Betão e o Meio Ambiente**

### **2.2.1. A Insustentabilidade da Situação Actual**

Pelo que foi exposto sobre as alterações climáticas, é de fácil compreensão que o modelo de vida actual conduzido pelas actividades humanas, rapidamente se está a tornar insustentável em termos sociais, económicos e ambientais. Face a este tema, a opinião pública divide-se entre os alarmistas, que partilham de uma ideia catastrófica do futuro, sustentando que todas as acções são válidas para salvaguardar o ambiente, e dois tipos de cépticos: uns que desvalorizam estas acções e as consideram como sendo esforços inúteis, outros, por outro lado, consideram que as mudanças verificadas actualmente são pontuais iguais a tantas outras verificadas no passado. No entanto, nos dois primeiros casos, representativos da grande maioria da opinião pública, pelo menos estão de acordo e reconhecem que os problemas ambientais, relacionados pelos padrões de consumo humano, existem e que os seus impactes têm consequências intergeográficas e intergeracionais, pelo que é urgente compreendê-los e solucioná-los eficazmente para garantir uma boa qualidade de vida para as gerações vindouras.

### **2.2.2. Utilização de Resíduos**

A indústria da construção é um dos sectores mais activos em toda a Europa e ao mesmo tempo é a actividade que mais matérias-primas não renováveis consome em todo o mundo, assim como é a responsável por grande parte da produção de resíduos. Nos dias de hoje, o grande desafio que a indústria da construção enfrenta é, inquestionavelmente, o de alcançar um crescimento que seja considerado sustentável. Para tal, pode contribuir a mudança de uma cultura que privilegia uma construção em torno da rapidez e de interesses meramente económicos, para uma cultura capaz de se comprometer numa vertente de conservação de energia e de materiais, passando pela incorporação de resíduos [2]. Actualmente estudam-se um número considerável de resíduos que podem ser incorporados em betões:

- Com características pozolânicas;
- Cinzas volantes;
- Escórias de alto-forno;
- Sílica de fumo;
- Cinzas de resíduos vegetais;
- Cinzas de resíduos sólidos urbanos;
- Resíduos de vidro;

- Resíduos de agregados de fíler;
- Resíduos de construção e demolição (RCD);
- Etc.

O tema da reciclagem é deveras importante para tornar a construção numa actividade sustentável. As vantagens ambientais de um produto deste tipo são evidentes, pois quando consumada a sua vida útil, podem dar origem a novos materiais, prevenindo-se desta forma o impacto negativo gerado pela utilização de novas matérias-primas. Torgal e Jalali (2007) referem que os RCD representam 1/3 do total de resíduos produzidos no espaço europeu (cerca de 500 Mt). À data do artigo, a taxa média de reciclagem de RCD na Europa era de 50%, contudo, enquanto que em países como na Dinamarca este valor chegava a atingir os 89% (em consequência das taxas existentes de deposição e extracção de recursos não renováveis), em Portugal, 95% dos RCD tiveram como destino a deposição em aterro. A incorporação deste tipo de resíduos, e de resíduos industriais em betões, pode contribuir para alcançar as metas estabelecidas nos protocolos assinados por Portugal.

### **2.2.3. Durabilidade do Betão**

Presentemente, técnicos e engenheiros estabelecem o tipo de betão a utilizar apenas tendo em vista as resistências mecânicas. Contudo, esta não será a visão mais correcta, uma vez que se verifica um enorme número de obras de betão armado que são projectadas geralmente para 50 anos, sendo que muitas se deterioram precocemente ao fim de 20 a 30 anos. No entanto, poderá dizer-se que quanto maior for a durabilidade de um material, maior será também a sua vida útil e, por conseguinte, menor será o seu impacto ambiental [2][9].

A reduzida durabilidade e a deterioração antecipada de algumas destas estruturas ficam a dever-se ao material ligante. O material ligante utilizado em maior escala trata-se do cimento Portland que, segundo os autores Torgal e Jalali (2007), possui um reduzido desempenho ambiental, facilmente susceptível de sofrer ataques químicos, o que pode ser agravado pela incapacidade deste ligante em conseguir uma boa aderência aos agregados. Este facto dá origem a que se verifique uma permeabilidade relativamente elevada de água, gases e substâncias agressivas que podem desencadear fenómenos de corrosão. Estudos mostram que através da utilização de ligantes alternativos, obtidos a partir de resíduos, se consegue alcançar um aumento da durabilidade e uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> relativamente ao cimento Portland, contribuindo-se desta forma para uma construção mais sustentável.

Através da Figura 4 é possível observar a importância da escolha do tipo de cimento e a sua influência no desempenho, nomeadamente na durabilidade dos betões em estruturas. O betão com cimento Portland (CEM I), quando em comparação com os restantes tipos de cimento, mostra claramente um pior resultado quanto à probabilidade de desenvolver corrosão. Este, apenas em 4 anos, atinge o limite de 7% de probabilidade de corrosão, já o cimento de escórias de alto-forno (CEM III/B) atinge este limite apenas ao fim de 44 anos. É de referir que estes últimos possuem menos quantidade de clínquer incorporado na sua composição, o que significa que, para além de se revelarem mais duráveis, mostram-se também menos poluentes.

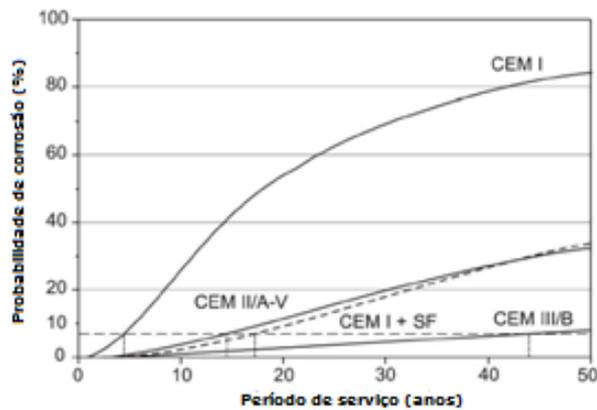


Figura 4 – Efeito do tipo de cimento no desempenho de durabilidade da estrutura [10].

Tal como apresentado na Figura 4, os ligantes alternativos ao CEM I são reconhecidos pela comunidade científica pela sua resistência ao ataque por ácidos, ao invés da descrição feita sobre o cimento Portland (CEM I) por inúmeros autores que tratam assuntos relacionados com a sustentabilidade na construção e que referenciam Sousa Coutinho, que na sua obra faz a seguinte afirmação:

*“...a sua elevada alcalinidade torna-o um material instável...*

*pelos que a sua duração não será muito longa...”*

Desta forma, é justificada a pressão cada vez maior para se utilizarem maiores quantidades de cimento com adições, pois estas podem contribuir para um acréscimo da qualidade das construções sem comprometer o ambiente.

## 2.2.4. Produção de Cimento

Segundo Habert et al. (2010), 80% do CO<sub>2</sub> produzido na construção civil provém da produção do cimento. Este processo pode ser simplificado em três fases de maior impacto:

- Fase 1 – Emissão de CO<sub>2</sub> derivado da descarbonatação do calcário;
- Fase 2 – Emissão de CO<sub>2</sub> proveniente da queima dos combustíveis no forno;
- Fase 3 - Emissão de CO<sub>2</sub> originado pelos veículos de transporte e distribuição.

Na figura seguinte descreve-se sumariamente o processo de produção de cimento com a particularidade de estarem presentes as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo que a espessura das setas é proporcional à quantidade de material emitido.

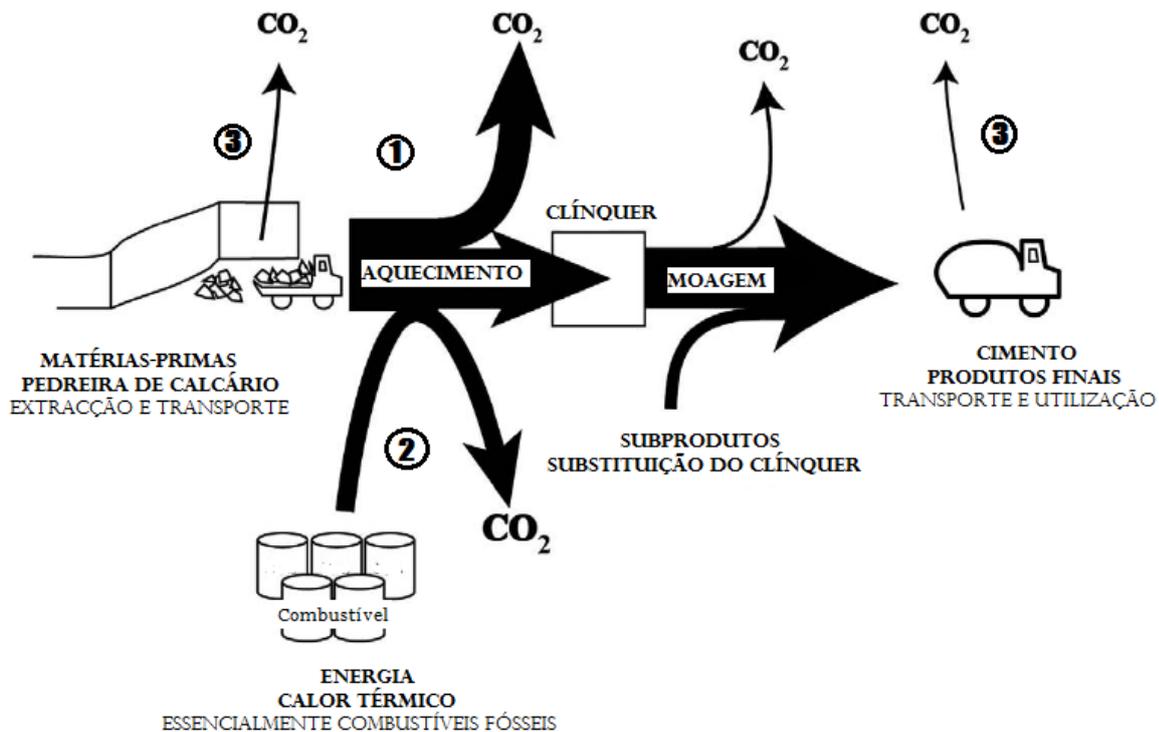


Figura 5 – Processo simplificado do fabrico do cimento. Adaptado de [11].

Na Figura 5 verifica-se uma grande libertação de CO<sub>2</sub> na Fase 1 e na Fase 2, apesar de, nesta última, se verificar em menor escala. Já na fase de transporte para as fábricas de cimento e distribuição (Fase 3) verifica-se uma muito menor libertação de CO<sub>2</sub>.

Na produção de cimento, o calcário é a principal matéria-prima utilizada. Este é queimado a 1450°C para a produção de clínquer (descarbonatação do calcário) e é então misturado com aditivos. Este

processo é traduzido por:  $3\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{SiO}_5 + 3\text{CO}_2$ . O produto acabado é finalmente moído para produzir diferentes tipos de cimento. Segundo Habert (2010), durante o processo de produção de cimento, cerca de 0,92 t de  $\text{CO}_2$  é libertado por cada tonelada de clínquer produzida (0,53 t corresponde à calcinação, ou seja, à descarbonatação do calcário; e 0,39 t no uso de combustíveis baseados em carbono usados para o aquecimento do forno onde ocorrem as reacções – este será o caso português, uma vez que não possuímos centrais nucleares em território nacional, ao contrário de outros países).

Com o intuito de reduzir as emissões de  $\text{CO}_2$  associadas ao cimento, é fácil perceber que se pode actuar em duas frentes: uma será a redução das emissões de  $\text{CO}_2$  na produção do clínquer, outra solução, analisada mais à frente, será a de reduzir a quantidade de clínquer no cimento. O mesmo autor propõe ainda uma expressão que nos permite compreender melhor os factores envolvidos na determinação da quantidade de  $\text{CO}_2$  envolvida na produção de clínquer, baseados no tipo de combustível utilizado, na eficiência energética dos fornos e dos sistemas de arrefecimento, e no tipo de matérias-primas usadas:

$$Ton_{CO_2} / ano = [(Combustível_{emissão} \cdot Energia_{forno} + Matéria - prima_{emissão}) \cdot Clínquer_{teor}] \cdot Produção_{cimento} / ano \quad (2)$$

Legenda:

Combustível<sub>emissão</sub> -  $\text{CO}_2$  libertado da queima do combustível (Ton $\text{CO}_2$ /MJ);

Energia<sub>forno</sub> - tecnologia do forno (MJ/Ton<sub>clínquer</sub>);

Matéria-prima<sub>emissão</sub> -  $\text{CO}_2$  libertado das matérias-primas (Ton $\text{CO}_2$ /Ton<sub>clínquer</sub>);

Clínquer<sub>teor</sub> - percentagem de clínquer no cimento (Ton<sub>clínquer</sub>/Ton<sub>Cimento</sub>);

Produção<sub>cimento</sub>/ano - produção de cimento num ano (Ton<sub>cimento</sub>/ano).

Estudos citados por Habert (2010) e por Jalali (2008) indicam que nas últimas décadas muitos progressos têm sido feitos ao nível da eficiência energética referente ao processo de clinquerização devido à melhoria da tecnologia utilizada nos fornos de queima (Figura 6), no entanto, em consequência dos custos associados, prevê-se que os consumos de energia envolvidos neste processo não consigam baixar dos valores actualmente conhecidos, pelo que estes deverão estar situados acima dos 3 000 MJ/t clínquer.

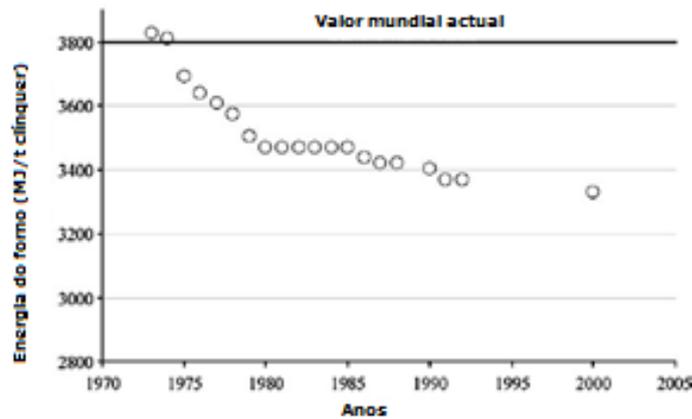


Figura 6 – Evolução da energia usada nos fornos de cimento nos anos de 1973 a 2000 [11].

### 2.2.5. Adições

Hoje em dia, verificam-se alguns avanços na área dos ligantes alternativos ao cimento Portland, a indústria cimenteira já produz cimentos com substituição parcial do clínquer por subprodutos industriais ou resíduos que, como já foi referido, possuem uma série de vantagens [12]:

- Superior desempenho a nível ambiental:
  - Reduzem substancialmente o consumo de energia e custos relacionados com a produção de cimento;
  - São aproveitados grandes quantidades de subprodutos que, de outra forma, seriam colocados em aterro, evitando-se o risco de virem a causar poluição;
- Melhor relação de durabilidade relativamente ao cimento Portland;
- As adições podem auxiliar o sector da construção a reduzir custos, proporcionando materiais de construção mais baratos, quando estão envolvidos grandes volumes de betão, como é o caso da construção de edifícios de habitações;
- Desenvolver determinada propriedade no cimento para poder fazer face a determinadas necessidades da construção:
  - Elevada resistência aos sulfatos;
  - Baixo calor de hidratação;
  - Endurecimento rápido;
  - Cimentos de elevada resistência inicial, etc.

Estas adições dão origem tanto a mudanças químicas (ao nível da microestrutura) como físicas (ocupação de vazios pelas partículas de pequenas dimensões) e podem contribuir significativamente para a redução da relação clínquer/cimento. Contudo, estes ligantes encontram dificuldades em se

afirmarem, em parte devido ao baixo custo do cimento Portland, mas também devido à falta de informação, junto dos agentes que têm influência na escolha do tipo de cimento, o que leva a que seja difícil alterar conceitos respeitantes à tradicional forte cultura em torno do cimento Portland.

As adições/ constituintes principais do ligante que a legislação portuguesa permite que sejam utilizados, em substituição parcial do cimento Portland, constam na norma NP EN 197-1, sendo que nesta vêm especificadas as composições permitidas dos diferentes tipos de cimentos (Anexo 1); estas adições poderão ainda ser adicionadas na amassadura do betão.

#### **2.2.5.1. Escórias de Alto-Forno**

As escórias de alto-forno são um subproduto da indústria siderúrgica, em que o alto-forno possui a forma de uma chaminé, na parte superior deste são introduzidas matérias sólidas como o minério de ferro<sup>6</sup>, assim como o carvão e um fundente (por norma utiliza-se o calcário), esta mistura deverá ter abundância em cálcio, silício e alumínio. Estes descem pelo forno, onde devido às elevadas temperaturas (cerca de 1500 °C) atingem a fusão.

Periodicamente dois metais líquidos de diferentes densidades são retirados do fundo do alto-forno, o ferro fundido e outro mais leve denominado de escória. A escória retirada, ainda em estado de fusão, deve ser arrefecida rapidamente, num tanque de água, de forma a obter granulação do material, desta forma evita-se a formação de uma estrutura cristalina que não teria propriedades hidráulicas essenciais. De seguida, este material é moído e seco, obtendo-se então um material no estado amorfo, com propriedades hidráulicas, podendo este ter várias utilizações. A escória de alto-forno pode ser incluída na indústria do cimento como matéria-prima, para a produção de clínquer, ou como adição ao cimento, e ainda adicionado ao betão como inerte [13][14].

Da hidratação do cimento resulta uma grande quantidade de hidróxido de cálcio. As escórias de alto-forno, quando moídas possuem as mesmas características de um cimento, pois permitem a formação de silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, contudo possuem uma reacção extremamente lenta quando aplicados isoladamente. A sua utilização só se torna viável pelo processo de activação, pelo aumento do pH do meio, que pode ser feito pela incorporação na água de amassadura de uma pequena porção de soda cáustica (NaOH), de potassa cáustica (KOH), silicato de sódio ou mesmo cimento Portland, activando as reacções de hidratação das escórias. Contudo, deste processo de hidratação não resulta hidróxido de cálcio, tal como acontece com o cimento Portland. Por este motivo, não acarreta os inconvenientes por ataque de sulfatos e álcalis, à alumina do agregado ou aluminatos do cimento, e à sílica dos agregados, respectivamente.

---

<sup>6</sup> Constituído por uma mistura de óxidos de ferro.

Para uma grande percentagem de substituição do clínquer por escórias (caso dos CEM III) verifica-se a formação de aluminato bicálcico hidratado, ao contrário do que acontece no cimento Portland, onde se verifica a formação de aluminato tricálcico, desta forma, este tipo de cimentos apresenta uma elevada resistência química. Para além destes importantes factores, é também aproveitado um subproduto industrial, e consegue-se reduzir a quantidade de combustível utilizado, pois o clínquer, que tanta energia térmica exige, encontra-se agora presente em menor quantidade [12][13][15].

#### **2.2.5.2.     *Sílica de Fumo***

A sílica de fumo resulta sobretudo da preparação de ligas de ferro-silício, em fornos eléctricos de arco, onde a cerca de 2000 °C o quartzo é reduzido pelo carvão. Neste processo, dá-se a emissão de pequenas partículas de sílica amorfa que são captadas por filtros, antes de atingirem a atmosfera, obtendo-se assim a sílica de fumo.

Esta é maioritariamente constituída por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e em menores quantidades por óxidos de alumínio, ferro, cálcio, magnésio, etc. O valor do diâmetro das suas partículas varia entre 0,01 e 0,5  $\mu\text{m}$ . A grande finura deste material é a responsável pela sua utilização em betões de elevado desempenho, pois esta ocupa os vazios entre as partículas do cimento e do inerte, reduzindo desta forma o volume de vazios do betão, de onde resulta uma menor permeabilidade e, conseqüentemente, uma maior durabilidade. A sílica de fumo diminui a exsudação e a tendência do betão segregar, no entanto, é necessária a utilização de superplastificantes, para fazer face à tendência de aumento da dosagem de água, por forma a manter a trabalhabilidade constante.

Devido à pouca disponibilidade no mercado, o seu elevado custo é elevado, pelo que este tipo de adição é particularmente indicado apenas para estruturas de grande agressividade química e de grande exigência mecânica [12][13][16][17].

#### **2.2.5.6.     *Material Pozolânico***

As pozolanas são constituídas, principalmente, por sílica e alumina, estas não possuem à partida propriedades aglomerantes e hidráulicas, contudo contêm constituintes que à temperatura ambiente e na presença de água se combinam com o hidróxido de cálcio e com os diferentes componentes do cimento, originando compostos de grande estabilidade na água e com propriedades aglomerantes [13.]

A reactividade pozolânica, ou seja, a capacidade da pozolana se combinar com o hidróxido de cálcio do cimento ou da cal com a qual está em contacto, reduzindo a sua concentração, é tanto maior quanto os seus constituintes estiverem afastados do estado cristalino. Os cimentos pozolânicos são reconhecidos por baixarem o calor de hidratação do betão (bastante útil para o caso de betão em grandes massas) sem grandes perdas da tensão de rotura, e para evitar a formação de sulfoaluminato expansivo, propriedade importante para dotar o betão de características ao ataque por sulfatos [13].

De acordo com a sua proveniência estas podem ser classificadas de pozolanas naturais (origem em magmas ricos em sílica), artificiais (argilas depois de sujeitas a temperaturas de 500 a 900 °C capazes de gerar desidratação, mas inferiores à fusão), subprodutos industriais (sílica de fumo ou cinzas volantes, obtidas por um processo semelhante ao das pozolanas artificiais: argilas, materiais siliciosos e aluminosos, presentes no carvão, sujeitos a temperaturas elevadas) e ainda subprodutos da agricultura (como a cinza da casca de arroz) [12][13].

### **2.2.5.3. Cinzas Volantes**

Centrais termoeléctricas utilizadoras de carvão são as grandes produtoras de cinzas volantes. As cinzas volantes são um resíduo de pequenas dimensões (diâmetro de cerca de 10 µm) derivado da queima do carvão pulverizado<sup>7</sup>, estas são arrastadas pelos gases de combustão e capturadas antes de saírem para a atmosfera. Através da utilização de cinzas volantes, consegue-se dar vazão a um subproduto industrial, que desta forma não vai para aterro, reduzindo-se o impacte ambiental. As propriedades físicas e químicas destas poderão variar bastante, sobretudo devido ao tipo de carvão utilizado, pelas condições de combustão, nomeadamente, no que diz respeito à quantidade de carvão por queimar existente nas cinzas e pelo modo como as cinzas são recolhidas e armazenadas [13][15].

As cinzas volantes são constituídas, principalmente, por sílica, alumina e óxido de ferro, podendo ser classificadas de acordo com a quantidade em cálcio (presente no CaO):

- CaO<10% - cinza volante siliciosa (propriedades pozolânicas)
- CaO>10% - cinza volante calcária (propriedades hidráulicas e/ ou pozolânicas)

A utilização de cinzas volantes é justificada pelo facto de serem usadas como substituição parcial do cimento, conseguindo-se reduzir o consumo deste, diminuindo-se, conseqüentemente, as emissões

---

<sup>7</sup> O carvão possui impurezas como a argila, o quartzo e o calcário, que fundem aquando da combustão e, dão origem a matéria amorfa de pequenas dimensões.

atmosféricas de CO<sub>2</sub>, para além de que a utilização das cinzas volantes veio evidenciar a melhoria de certas propriedades do betão, como a trabalhabilidade, melhorando a sua compactação e bombagem, a redução do calor de hidratação, a redução da permeabilidade e a consequente melhoria da durabilidade. Pela incorporação de cinzas, numa quantidade superior a cerca de 30 ou 40 %, verifica-se uma melhoria na resistência aos sulfatos e à reacção expansiva entre a sílica do inerte e os alcalis do cimento, contudo a resistência mecânica do betão pode diminuir; abaixo desta percentagem de incorporação, o uso de cinzas reduz as resistências iniciais, podendo como consequência aumentar o tempo de descofragem, mas, por outro lado, pode conduzir a resistências a longo prazo iguais ou superiores às do cimento Portland [13][15][17].

#### **2.2.5.4. Fíleres e Fíler de Calcário**

Um fíler é um material que é finamente moído, sendo que o fíler calcário, o mais utilizado de todos os fíler, é obtido pela moagem da pedra calcária bruta. Este material destaca-se das restantes adições, pelo facto de ser praticamente inerte a nível químico, ou seja, não reage com a água, nem com os compostos do cimento hidratado. O que significa que não tem actividade pozolânica, preenchendo apenas os vazios e melhora a granulometria das partículas, o que pode trazer benefícios às características do betão, ao nível da exsudação, garantir uma melhor trabalhabilidade, menor permeabilidade e capilaridade, etc. [12][16].

### **2.3. Avaliação do Ciclo de Vida**

Para fazer face à crescente consciencialização da importância da preservação ambiental e dos impactes associados aos mais variados produtos, têm surgido os mais diversos métodos, entre os quais a análise do ciclo de vida (ACV). Esta é definida como sendo um método fiável e de referência de avaliação de todos os impactes que um determinado processo ou produto têm ao longo do seu ciclo de vida no meio ambiente [18].

Os produtos são feitos a partir de matérias-primas, que têm de ser transportadas, utilizadas e eventualmente descartadas no fim do seu ciclo de vida. Os processos também possuem os seus próprios ciclos de vida. Esta análise é particularizada na Figura 7 para o betão, permite avaliar o fluxo de um sistema, quer a nível de *inputs* (consumo de energia e matérias-primas), como a nível de *outputs* (produtos, emissões para o ar, para a água, para o solo, etc.), desta forma é capaz de se tornar uma forte ferramenta no que diz respeito a questões ambientais de sistemas, produtos, e

processos [19]. Os princípios do método da ACV vão ser usados mais à frente no Capítulo 4, pois adequam-se bem ao propósito final deste trabalho, avaliar o impacto ambiental de 1m<sup>2</sup> de construção, tendo por base o betão como material construtivo.

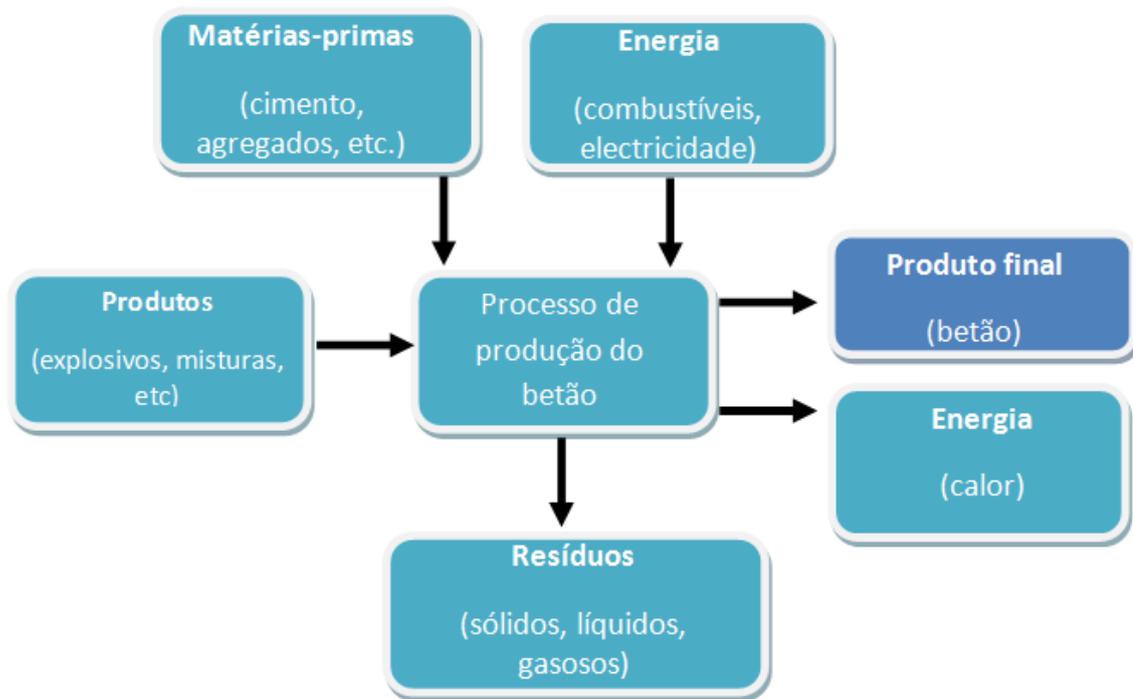


Figura 7 – Inputs e outputs do ciclo de vida da produção de betão. Adaptado de [20].

Este método é também conhecido como “análise do berço à cova” (*cradle to the grave*)<sup>8</sup> pois, como o nome indica, é possível analisar o ciclo de vida típico de um edifício, considerando o seu ciclo de vida completo, e tudo o que possa estar directamente ou indirectamente relacionado, desde o momento em que as matérias-primas, constituintes do produto, são extraídas até à fase de fim de vida.

Esta análise pode ser dividida em três fases distintas, a saber: montagem, utilização e finalmente desmontagem (Figura 8) [21]. A primeira fase engloba a extracção da matéria-prima ou a reciclagem de material já existente, o processamento de produtos necessários ao edifício, transportes associados e a construção do edifício em si. A fase de utilização refere-se à electricidade, aquecimento, serviços de água e outros que possam ser contabilizados no período de vida útil do edifício. Por fim, na fase de desmontagem está incluída a demolição do edifício, eliminação e/ou reciclagem dos produtos resultantes e etapas intermediárias de transporte.

<sup>8</sup> Também pode ser utilizado como um método ‘*cradle to the gate*’ ou somente entre ‘*gates*’.

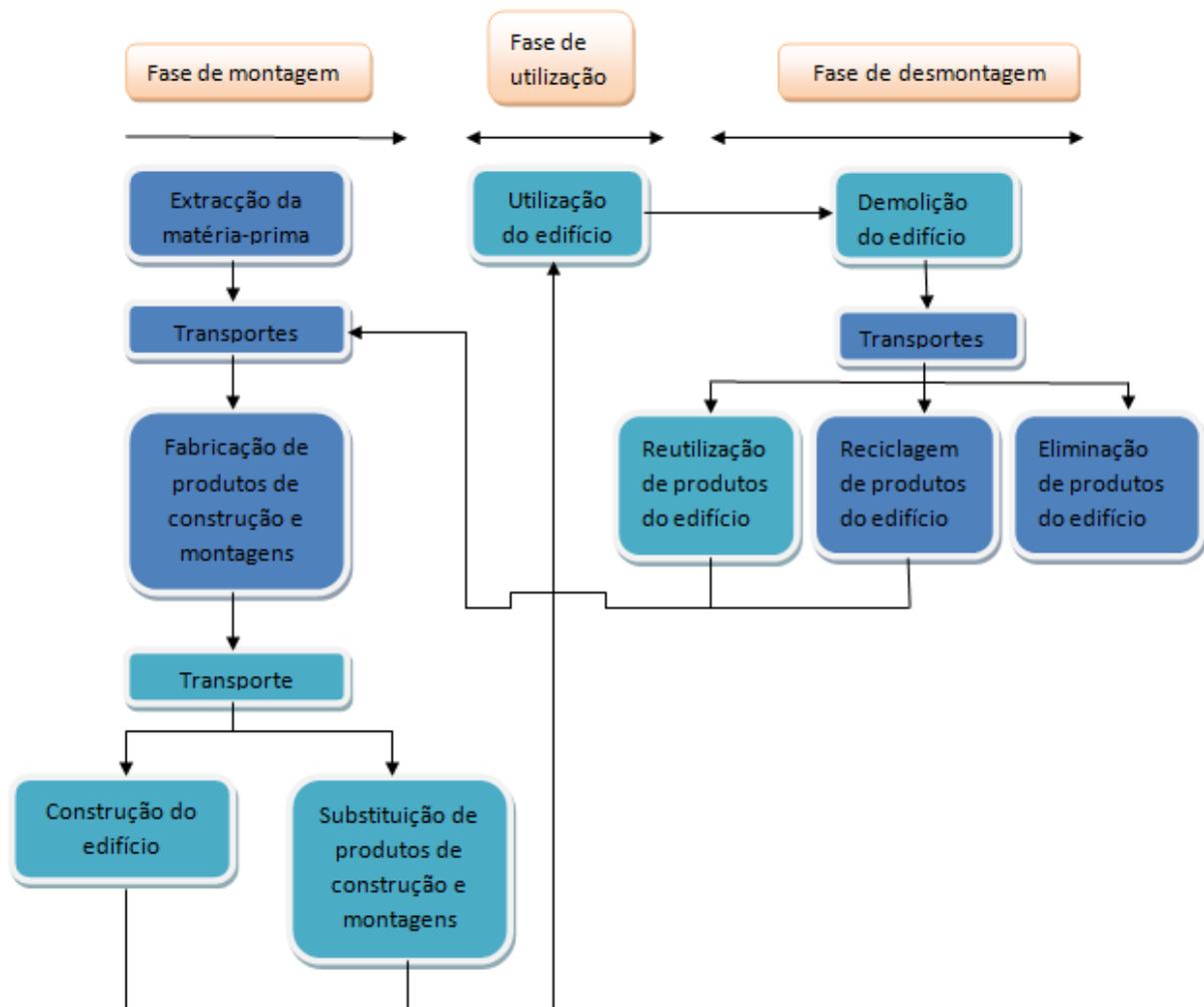


Figura 8 - Ciclo de vida típico de um edifício [21].

A ACV pode ser útil em várias aplicações [22][23]:

- Identificação de oportunidades de desenvolver e melhorar certos aspectos ambientais dos produtos em determinadas fases do seu ciclo de vida;
- Política pública/ tomada de decisões relativas à definição de prioridades ou planeamento estratégico;
- Selecção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental;
- Marketing (clientes/ utilizadores predispõe-se cada vez mais a usar produtos que respeitem o ambiente, logo as empresas procuram evidenciar interna e externamente de forma credível a qualidade dos produtos ou processos de acordo com requisitos de protecção ambiental, através de: declaração ambiental, programa de rotulagem ecológica, etc.).

A ACV é considerada uma técnica relativamente complexa. Para a realização de uma ACV rigorosa é necessário dispor de bases de dados seguras (inventários) que incluam um número elevado de aspectos ambientais (fluxos do sistema) relativos aos produtos (matérias-primas) para que possam

ser analisadas as contribuições das diferentes fases do ciclo de vida, e assim se possa proceder ao cálculo da carga ambiental total de um produto ao longo de todo o ciclo de vida.

### 2.3.1. As Normas ISO

A ISO (Organização Internacional de Normalização) surge em 1946, pela mão de delegados de 25 países que se reuniram em Londres com o intuito de criar uma nova organização internacional capaz de “facilitar a coordenação internacional e unificação dos padrões industriais” [24]. Trata-se da maior organização mundial de desenvolvimento de normas composta por representantes de 162 organismos de países diferentes. Até à data, esta organização conta já com mais de 18500 Normas Internacionais publicadas nas mais variadas áreas como agricultura, construção, engenharia mecânica, etc.

Estas normas internacionais resultam de um acordo entre os organismos membros da ISO e podem ser implementadas nos vários países directamente, ou através da sua incorporação nas respectivas normas nacionais. Estas estão sujeitas a um processo rigoroso de análise e desenvolvimento por comités técnicos (TC) da ISO e por subcomissões (SC).

A série ISO 14000 surgiu nos anos 90 do século passado, para apoiar o objectivo do desenvolvimento sustentável discutido na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, em 1992, colmatando desta forma o crescente interesse pela busca de normas relativas a este tema.

Na Tabela seguinte é apresentado o conjunto de normas que fazem parte da série ISO 14000 (Ambiente).

Tabela 2 – Conjunto de normas da série ISO 14000 [23].

Conjunto de normas da série ISO 14000	
ISO 14001 a 14004	Sistema de gestão ambiental
ISO 14010 a 14012	Auditoria ambiental
ISO 14020 e 14021	Rotulagem ambiental
ISO 14031	Desempenho ambiental
ISO 14040 a 14043	Análise de ciclo de vida
ISO 14050	Termos e definições

### 2.3.2. ACV Segundo as Normas ISO

Todo o processo de ACV é realizado em distintas fases, segundo as normas ISO, para a avaliação dos impactes ambientais associados a um sistema em geral [23][25][26]:

- **Definição do Objectivo e Âmbito do Estudo** – Nesta primeira fase do processo ACV é formulado e especificado o objectivo e âmbito do estudo sem ambiguidade.

O objectivo de um estudo de ACV deve ser explícito quanto à aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e qual o público-alvo.

Na definição do âmbito do estudo deve-se dar atenção a:

- Unidade funcional – fornecer uma referência em relação à qual os dados de entrada e saída se relacionam, de forma a assegurar a possibilidade de comparação dos resultados da ACV. Esta toma particular relevância quando se estão a avaliar diferentes sistemas.
  - Fronteiras do sistema de produto – estabelece quais as unidades de processo que devem ser incluídas no sistema da ACV. Os critérios usados no estabelecimento das fronteiras do sistema devem ser claramente identificados e justificados.
  - Qualidade dos dados iniciais – este aspecto depende muito de qual o objectivo do estudo. Indica as características e qual a profundidade dos dados recolhidos para o estudo. Na definição da qualidade dos dados devem ser abordados:
    - Período de tempo coberto;
    - Área geográfica;
    - Cobertura tecnológica;
    - Precisão, representatividade, consistência e reprodutibilidade;
    - Incerteza da informação.
- 
- **Análise do Inventário do Ciclo de Vida** – A fase de análise do inventário envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema em estudo (entradas de recursos e energia; saídas de emissões para a atmosfera, deposição de resíduos sólidos e descargas de efluentes líquidos). O processo de execução de uma análise do inventário é iterativo e pode ser bastante extenso, visto que à medida que se aumenta o conhecimento sobre o sistema podem-se identificar novos requisitos ou limitações para os dados, o que pode significar uma mudança nos procedimentos de recolha dos dados de modo a que os objectivos do estudo sejam alcançados.

- **Análise dos Impactos Ambientais** - Esta é uma fase fundamental para uma correcta estimativa da ACV pode divide-se nas seguintes partes:
  - Na primeira parte (fase de classificação), cada intervenção ambiental na ACV é associada a uma categoria de impacto ou categorias em que tem um efeito, sendo os dados do inventário agregados de modo a quantificar as categorias de impacto ambiental, sendo as mais vulgarmente utilizadas indicadas na Tabela 3:

Tabela 3 – Categorias de impacto, adaptado de Josa, et al. (2007).

Área de impacto	Categoria de impacto	Emissões atmosféricas			
		CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Poeira
<b>Global</b>	Efeito de estufa	X	-	-	-
<b>Regional</b>	Acidificação	-	X	X	-
	Eutrofização	-	-	X	-
<b>Local</b>	Nevoeiro de Inverno	-	X	-	X

- Na segunda parte (fase de caracterização), os efeitos relativos de todas as intervenções ambientais associadas a cada uma das diferentes categorias de impacto são quantificados por meio de factores de caracterização;
- Uma terceira parte pode ser considerada, a chamada de fase de avaliação, em que as diferentes categorias de impacto são ponderadas. Os valores escolhidos para realizar esta ponderação não resultam de uma ponderação técnica, científica ou objectiva, podendo reflectir a opinião de grupos políticos, de investidores, etc.

Conforme se verifica na Tabela 3, as categorias de impacto podem ser alvo de distintos pontos de análise, podendo ser classificadas, de acordo com o impacto criado no meio ambiente, como global, regional ou local, dependendo da sua área geográfica de impacto. Este tipo de classificação visa facilitar uma posterior análise dos resultados e tomada de decisão, dependendo do alcance do ponto de vista escolhido. Este trabalho vai incidir principalmente sobre a avaliação dos impactes globais, logo irão ser analisadas com maior detalhe apenas as quantidades de CO<sub>2</sub> libertadas.

- **Interpretação dos Resultados** – É desta fase que se retiram as principais conclusões e se sugerem recomendações fundamentadas acerca dos aspectos ambientais mais relevantes contidos nos resultados da análise do inventário do ciclo de vida. Os resultados da interpretação acima mencionada devem ser comunicados de uma forma transparente e

compreensível de modo a serem facilmente interpretados pelo responsável da tomada de decisão.

A ISO também possui padrões para relatórios de análise e de crítica. Logo, após os passos acima descritos, a ACV apresentada nos relatórios finais de um produto ou processo é sujeita a uma análise crítica que verifica a sua validade de acordo com a metodologia, o tipo de dados, interpretação e apresentação de relatório preconizado.

### **2.3.3. Ferramentas de ACV**

Dependendo da complexidade de um sistema (produto ou processo) e da profundidade que se pretende alcançar, a utilização de metodologias simplificadas de ACV poderá introduzir erros significativos e não serem suficientes quando se ambiciona uma avaliação precisa do impacto ambiental.

Existem várias ferramentas (*software*) que podem ser aplicados para uma ACV mais aprofundada, contudo estas são consideradas complexas, e necessitam de formação e treino, e a análise dos resultados que estas disponibilizam pode não ser intuitiva. Por estes motivos, apenas se torna praticável este tipo de ferramentas em empresas de maior envergadura.

As bases de dados presentes nos softwares fazem-se sobressair pela sua extensa dimensão, possuindo milhares de registos. Este facto deve-se à enorme amplitude possibilitada, pois estas ferramentas permitem cobrir os aspectos que têm influência não só no desenvolvimento dos sistemas, assim como durante todo o seu ciclo de vida. No entanto, a enorme quantidade de dados existente nessas bases de dados pode tornar-se num entrave a uma utilização fácil por parte do utilizador que pode, por exemplo, gastar bastante tempo à procura do material ou tipo de transporte que mais se adequa à ACV desse sistema, por entre os inúmeros dados disponíveis pelo *software*. Este factor pode também levar a que o utilizador não saiba qual a melhor opção de escolha para o seu produto, devido à similaridade de muitos dados existentes nas bases de dados.

### **2.3.4. Vantagens da ACV**

Os métodos ACV apresentam vantagens no que concerne à avaliação da problemática dos impactes ambientais de um produto ou processo, das quais se destacam:

- Permitem a análise de fluxos de materiais e energia que não podem ser verificados por outros métodos;
- Permitem identificar e comparar produtos e processos entre si, através de uma avaliação sistemática dos impactes ambientais;
- Possibilitam identificar oportunidades para melhorar o desempenho ambiental de produtos ou processos em diferentes fases do seu ciclo de vida;
- Permitem uma melhor percepção, desde o início, acerca dos materiais ou actividades que causam os maiores impactes ambientais.

Através das vantagens acima referidas, ao ter noção da importância dos impactes ambientais potenciais, e onde estes ocorrem, quem toma a decisão tem a possibilidade de poder resolvê-los logo desde o início, ainda durante a fase de projecto ou desenvolvimento. Desta forma, consegue-se alcançar uma tomada de decisão com base nos resultados da ACV de um sistema (produto ou processo).

### **2.3.5. Desvantagens da ACV**

No entanto, apesar de todas as vantagens proporcionadas pelo método de ACV na análise do desempenho ambiental dos produtos ou processos, a verdade é que este também apresenta algumas desvantagens que podem afectar o correcto uso dos dados retirados da ACV:

- A recolha deste tipo de informação pode tornar-se difícil, pois muitas vezes este tipo de inventários encontram-se fortemente restringidos pelos detentores da informação, outras vezes não existem inventários devidamente estruturados constatando-se que existem inúmeras formas distintas de apresentação dos dados;
- Os *softwares* existentes podem ser um obstáculo devido às dificuldades próprias à sua utilização, pois estas são ferramentas complexas, bastante abrangentes, que implicam a

introdução de uma grande quantidade de dados, e de escolhas relativas aos dados disponíveis;

- Muitas vezes os valores utilizados que derivam dos dados disponíveis possuem pouca transparência ou qualidade, pois estes são baseados num pequeno universo de medidas, cálculos teóricos ou estimativas, logo poderá ser posta em causa a fiabilidade dos dados de ACV utilizados;
- As metodologias levadas a cabo poderão não ser as mais adequadas.

Pelo que foi dito anteriormente, é perceptível que a leitura e as conclusões a retirar deste tipo de análise devem ser bastante cuidadas e devidamente validadas.



## Capítulo 3 - Betão – Descrição Geral

Este capítulo justifica-se pela necessidade essencial de se conhecerem os diferentes tipos de betões utilizados na construção, assim como as matérias-primas que os constituem, para uma melhor compreensão da abordagem feita ao estudo desenvolvido nos capítulos seguintes.

Coutinho (1997) define o betão como sendo “*um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areia, com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, adjuvantes. Este possui uma propriedade em que os produtos da reacção do ligante com a água têm de endurecer, conferindo à mistura uma coesão e resistência que lhe permite servir como material de construção.*”

Existem vários tipos de betões, assim como existem bastantes campos de aplicação destes. O betão pode ser normal, de alta resistência, alto desempenho, auto-compactável, betão leve, etc. A qualidade do betão por norma é definida tendo em conta a sua resistência à compressão (através da realização de ensaios em provetes cilíndricos ou cúbicos), no entanto esta visão simplista poderá estar à beira de mudar, uma vez que se começa a dar grande importância à durabilidade do mesmo e a aspectos relacionados com as questões ambientais.

A produção de betão envolve a dosagem e mistura dos seus vários constituintes. O betão mais corrente inclui cimento Portland (10-20%), agregados finos e grossos (70-80%), e água (7-9%), se necessário, para melhorar determinadas características específicas podem ainda ser adicionados aditivos químicos (menos de 1%), na Figura 9 encontra-se esquematicamente a descrição feita. Para que a estrutura em betão seja durável e de qualidade, é necessário seleccionar os materiais constituintes adequados, e realizar uma eficaz fiscalização em obra, uma vez que, normalmente, uma obra deste tipo é betonada insitu, estando dependente da mão-de-obra encarregada da produção, colocação, e cura o betão.

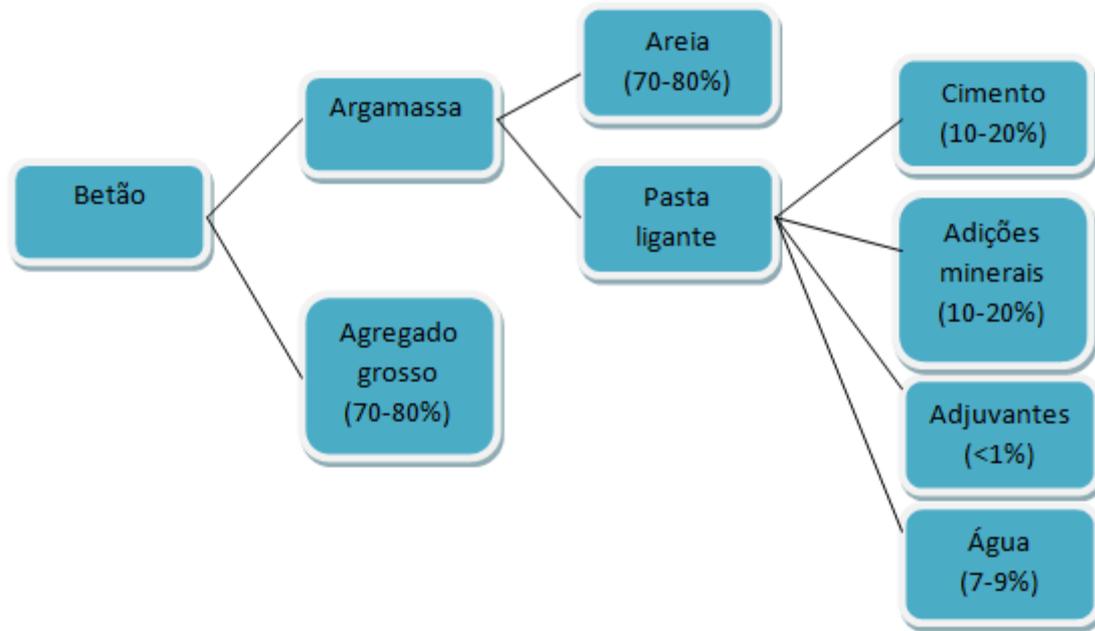


Figura 9 – Constituição do betão.

### 3.1. Matérias-primas

#### 3.1.1. Cimento

O cimento actualmente utilizado é um ligante hidráulico constituído por pós muito finos que através da sua reacção química com a água endurece, formando uma pasta com a capacidade de aglomerar materiais inertes, criando uma grande coesão e resistência necessária para a utilização em construção [13].

O betão produzido com cimento Portland<sup>9</sup> é o material de construção mais largamente utilizado em todo o mundo (95% de todo o cimento produzido é deste tipo), este tipo de cimento é o ligante que confere integridade estrutural aos vários componentes do betão e é caracterizado pela forma como é produzido e pela sua composição [27].

<sup>9</sup> Patentado por Joseph Aspdin em 1824.

Apresenta-se de seguida a descrição do processo de fabrico do cimento Portland<sup>10</sup>, adaptado de Coutinho (1997):

- Inicialmente são extraídos da pedreira blocos de dimensão entre 1,5 a 2m e transportados para um britador que os reduz a pequenos blocos com alguns centímetros (Figura 10 a). Este material trata-se de calcário e de marga (calcário argiloso). Por norma a pedreira encontra-se perto da fábrica de cimento;
- Actualmente utiliza-se em maior escala o método de fabrico do cimento por via seca, em consequência dos menores gastos energéticos quando em comparação com a via húmida, em que a matéria-prima é moída e homogeneizada a seco, posteriormente é levada para silos;
- A mistura é analisada quimicamente e, se necessário, são feitas correcções à mistura, através de adição de aditivos correctores em calcário, sílica (através de adição de areia), óxido de ferro ou alumina. Esta mistura é moída e dá origem a um pó fino, denominados de cru (Figura 10 b). É este material que vai dar entrada no forno rotativo;
- A temperatura de cozedura em forno rotativo, para a obtenção de clínquer (Figura 10 c), ronda os 1450 °C e é obtida com recurso à combustão de carvão, coque, etc. actualmente já existem combustíveis alternativos que têm vindo a ser utilizados em maior quantidade;
- Após o arrefecimento do clínquer, este é moído juntamente com adjuvantes (por forma a facilitar a moagem), com aditivos como o gesso (para regular o tempo de presa) e outros como a pozolana, a escória de alto-forno, etc;
- No final, o cimento (Figura 10 d) é colocado em silos e, posteriormente, pode seguir para obra a granel ou ensacado.



Figura 10 – Matéria-prima: a) Marga; b) Crú; c) Clínquer; d) Cimento.

<sup>10</sup> Poderá também ser consultado o Anexo 2 – Diagrama do Fabrico do Cimento.

Os cimentos utilizados para o fabrico do betão classificam-se de acordo com a sua natureza e percentagem dos constituintes de acordo com a norma NP EN 197-1 e ainda tendo em vista a diversidade de aplicação. Estes podem ser divididos em cinco grupos principais, que indicam a quantidade de cimento Portland e outras adições incluídas, sendo denominados CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV e CEM V:

Tabela 4 – Tipos de cimentos [28].

Tipos de cimentos principais	Constituintes
<b>CEM I – Cimento Portland</b>	Clínquer 95-100%
<b>CEM II – Cimento Portland Composto</b>	Clínquer > 65%
<b>CEM III – Cimento de alto-forno</b>	Clínquer + 35-95% de escórias de alto-forno
<b>CEM IV – Cimento pozolânico</b>	45% Clínquer + 55% de sílica de fumo, pozolana ou cinzas volantes
<b>CEM V – Cimento composto</b>	> 20% Clínquer + > 18% escórias + pozolana e/ou cinzas volantes siliciosas

Torna-se portanto claro que à parte da classe CEM I, todas as outras consideram a possibilidade de utilização de subprodutos em substituição do clínquer, tais como cinzas volantes, escórias de alto-forno e resíduos de outros processos, o que permite reduzir o impacto ambiental fortemente associado ao fabrico do clínquer.

### 3.1.2. Agregados

Na norma EN 206-1 define-se o agregado como sendo um material mineral granular adequado para utilização no betão. Os agregados, conforme o modo como são obtidos, podem ser naturais (godo ou britas), artificiais (argila expandida e escória de alto forno) ou reciclados de materiais previamente usados na construção. Sendo que para Coutinho (1997), a forma mais prática de classificar um inerte é através da sua baridade, podendo este obter a classificação de inerte ultraleve, leve, denso (normal), e extradenso.

De acordo com Coutinho (1997) os agregados ou inertes são “constituídos por partículas de rochas com dimensões que variam geralmente entre cerca de 20 cm e 0,1mm, dispersas pela pasta de cimento, e cujo volume constitui cerca de 70 a 80% do betão.” Para além do seu emprego inicialmente se dever a questões económicas, rapidamente se chegou à conclusão de que estes influenciavam bastante o comportamento do betão.

A um inerte são exigidas propriedades tanto de natureza geométrica, como física, como química:

- Adequada forma e dimensões proporcionadas, segundo determinadas regras;
- Adequada resistência às forças;
- Adequadas propriedades térmicas;
- Adequadas propriedades químicas relativamente ao ligante e às acções exteriores;
- Isenção de substâncias prejudiciais.

### **3.1.3. Adições/ Adjuvantes**

Tanto as adições como os adjuvantes possibilitam desenvolver ou modificar determinada propriedade no cimento ou betão. O tema relativo às adições foi já abordado na Secção 2.2.5.

O adjuvante é uma substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa do cimento, adicionada durante a amassadura, aos componentes tanto das argamassas como dos betões, com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, ainda no estado fresco ou já no estado endurecido; podendo estes para além da suas funções principais ter ainda propriedades secundárias. Existem inúmeros adjuvantes, de acordo com a função principal que cada um desempenha, destes referem-se apenas alguns [13]:

- Redutor de água/ plastificante
  - Aumentar a tensão de rotura;
  - Sem alterar a trabalhabilidade, reduzir a dosagem de cimento;
  - Aumentar a trabalhabilidade, mantendo as dosagens de água e cimento.
- Superplastificante
  - Propriedades idênticas aos plastificantes, mas mais acentuadas, mas seu efeito é menos durável, contudo não existem contra-indicações em voltar a adicionar novamente o superplastificante.
- Introduzidor de ar
  - Incorporação de ar sob a forma de bolhas de forma esférica, que resulta num aumento da trabalhabilidade;
  - Indicado para betões sujeitos a gelo/ degelo;
  - Reduz as tensões de rotura, pelo facto de diminuir a compacidade;
  - Redução da capilaridade (efeito secundário).

- Acelerador/ retardador de presa
  - Permite diminuir/aumentar o tempo de transição do estado plástico para o estado rígido do betão, útil em situações de trabalhos de urgência (estancar fugas de água, etc.), ou em situações de demoras no transporte, respectivamente.

#### **3.1.4. Água**

Sjunnesson (2005) refere que a qualidade da água é capaz de afectar a resistência do betão. Por norma, a água potável (usada na distribuição para consumo público), tem uma qualidade suficiente para ser usada como água de amassadura. Coutinho (1997) acrescenta ainda que mesmo que estas não sejam potáveis podem ser utilizadas na amassadura do betão desde que não tenham cheiro nem sabor.

# Capítulo 4 – Modelo de Impacte para Estruturas de Betão

## 4.1. Caracterização Geral

Este trabalho tem por base a metodologia usada na Análise de Ciclo de Vida (ACV), sendo que esta é utilizada para avaliar o impacte de processos ou produtos no meio ambiente. A inclusão de todas as fases do ciclo de vida do produto justifica-se quando se pretende uma análise rigorosa e completa, desde a extracção dos recursos até à distribuição do produto já pronto ou, caso se deseje, até ao processamento dos resíduos finais do produto.

Quando se analisa o ciclo de vida de uma estrutura de betão de um edifício, todas as etapas da produção devem ser incluídas, desde as matérias-primas até ao fim das suas vidas úteis, passando pela sua utilização e manutenção. Assim, todos os impactes ambientais significativos no seu ciclo de vida podem ser contabilizados. No entanto, para o caso em estudo, não se pretende fazer tal análise completa do ciclo de vida do edifício, que com frequência é chamada de “*cradle to the grave*” (do berço ao túmulo). A fase final considerada neste trabalho é a colocação do betão em obra, pelo que a análise referida anteriormente termina numa fase intermédia, a chamada análise “*cradle to gate*” (do berço até uma determinada fase) do sistema que se pretende estudar. Poder-se-ia também considerar uma análise do impacto ambiental limitada entre fases intermédias/específicas “*gate to gate*” [20][26].

### 4.1.1. Âmbito de Análise

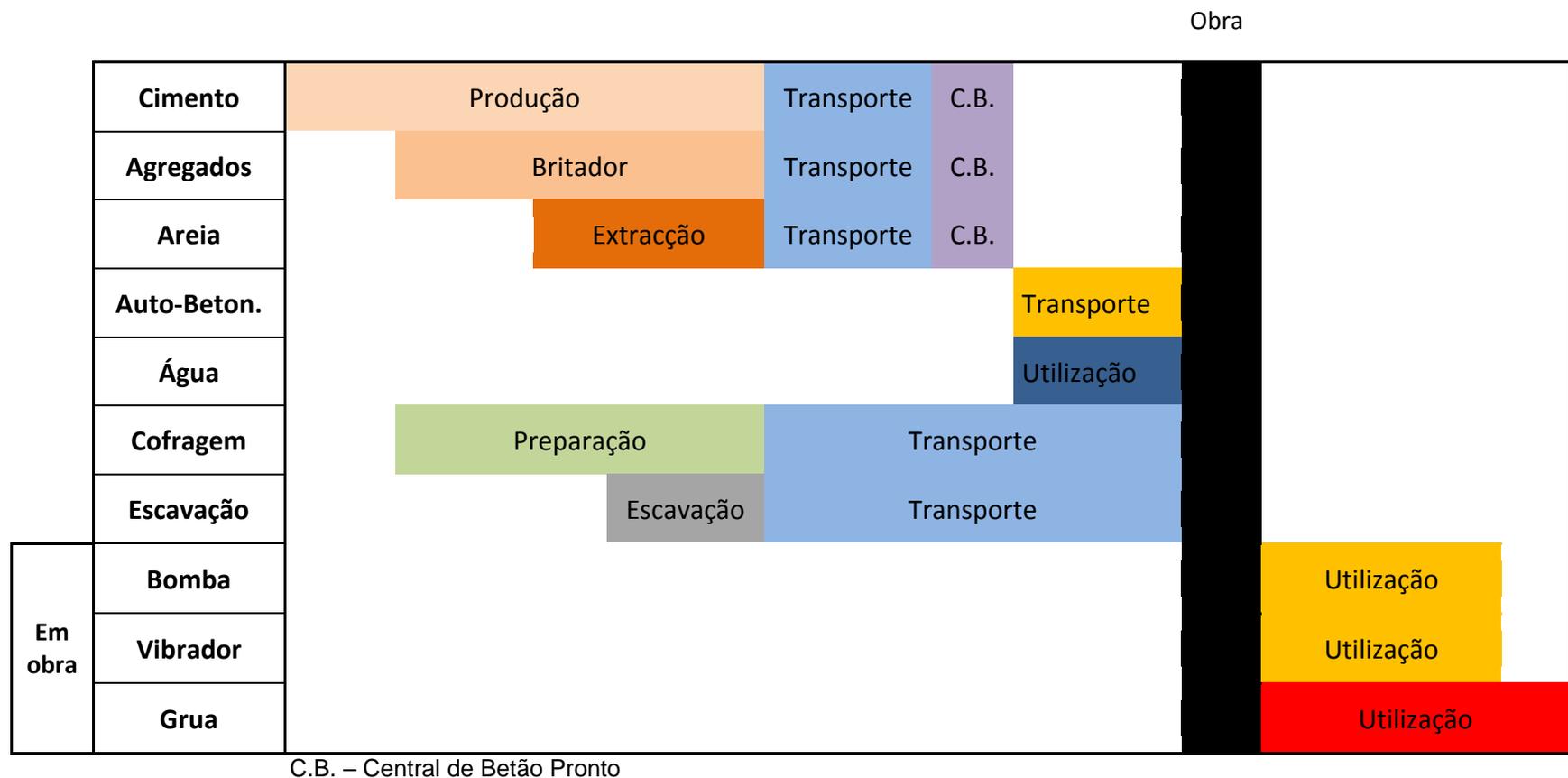
Entende-se que é necessário transmitir com precisão os limites estudados, a fim de saber exactamente as fases tidas em conta e as fases excluídas da análise de vida considerada. Neste trabalho, estabeleceram-se as seguintes fronteiras:

- Cimento:
  - Processo de fabrico, que considera:
    - A utilização de explosivos na pedreira;
    - A extracção com máquina;
    - Transporte para britadeira/ moinho;
    - Transportes internos em fábrica;
    - Gastos de energia em fábrica (britador/ tapetes rolantes/ ventilação, etc.).
  - Transporte do veículo carregado para a central de betão pronto e retorno sem carga.
  
- Agregados:
  - Neste trabalho, encontram-se representados pelo britador todos os trabalhos de preparação da brita, como:
    - A utilização de explosivos na pedreira;
    - A extracção com máquina;
    - Transporte dos blocos por um veículo pesado carregado para o britador.
  - Transporte dos inertes por um veículo pesado carregado para a central de betão pronto e retorno sem carga.
  
- Água:
  - Encontram-se representados pelo funcionamento de estações elevatórias todos os processos referentes ao transporte de água até ao ponto de consumo, como:
    - Captação;
    - Tratamentos;
    - Distância ao ponto de consumo.
  
- Areia:
  - Extracção com máquina;
  - Transporte do veículo carregado para a central de betão pronto e retorno sem carga.
  
- Central de betão pronto:
  - Processos referentes à central de betão pronto, que englobam o funcionamento de:
    - Misturador;
    - Sistema de abastecimento e pesagem de agregado e ligante;
    - Tanques de água e de aditivos com bomba;
  - Transporte com auto-betoneira do betão desde a central de betão pronto até à obra e retorno;

- Colocação do betão em obra:
  - Equipamento de bombeamento;
  - Equipamento vibrador;
  - Grua afecta a toda a execução da estrutura.
  
- Cofragem:
  - Corte de árvores, representa processos como:
    - Posicionamento da máquina;
    - Corte e tombo dos toros de madeira;
  - Transformação em tábuas de cofragem, que representa os processos de:
    - Descascar, traçar e serrar a madeira;
  - Transporte das cofragens para obra e retorno do veículo sem carga.
  
- Escavação:
  - Escavação;
  - Transporte para aterro do veículo carregado e retorno sem carga.

Em última análise, estas intervenções ambientais individuais de todas as fases consideradas para a colocação do betão em obra irão ser todas somadas e trabalhadas, de forma a que seja possível fazer uma leitura clara da quantidade de CO<sub>2</sub> envolvida na colocação em obra de 1 m<sup>2</sup> de piso de betão. Todas estas fases encontram-se delineadas no seguinte cronograma – resumo das actividades consideradas:

Tabela 5 - Cronograma das actividades consideradas



## **4.2. Considerações Sobre os Elementos de Base**

### **4.2.1. Cimento**

Os dados relativos à colocação do betão em obra, referentes ao cimento, tiveram como base os artigos de ACV de A. Josa, A. Aguado, et al. (2003), Josa, et al. (2007) e Filho (2001) que realizam o seu trabalho com base no programa SimaPro e dados da CEMBUREAU. Foram também incluídos alguns dados referentes ao fabrico dos cimentos mais comuns produzidos na fábrica de cimentos SECIL – Outão. Neste trabalho, verificou-se haver falta de quantidade e fiabilidade de informação relativa a este assunto, pelo que a análise que irá ser desenvolvida neste trabalho vai depender de inventários maioritariamente produzidos externamente, nomeadamente por uma mais forte representação de países da Europa Central e países nórdicos.

Por vezes, a análise comparativa de vários inventários não é possível devido a uma falta de ajuste entre o formato e o tratamento dos dados, fontes inadequadas, ou definições pouco claras das fronteiras do sistema. Esta foi uma das dificuldades encontradas nos inventários de A. Josa et al. (2003), no entanto, estes autores basearam os seus cálculos através da análise dos dados do consumo de matéria-prima para a produção de 1 kg de cimento apresentado pelas suas fontes (ANEXO 3). Através da leitura do Anexo referido é notória, em algumas situações, dados inconsistentes, como o facto de apenas em alguns casos ter sido contabilizada a água consumida. Outra prova disso mesmo é o facto de nestes inventários o transporte interno dentro de fábrica, não ser tido em conta, simplesmente porque se considera que está fora das fronteiras do sistema para cada cimento estudado ou por esta parcela ter sido considerado desprezável. A. Josa et al. (2003) afirmam mesmo que possam existir erros nas fontes de dados e que erros numéricos também são prováveis. Apesar de tudo, olhando para a tabela presente no referido anexo, a dispersão lógica dos dados de entrada correspondentes a cada tipo de cimento é evidente, apesar de algumas fronteiras dos inventários diferirem consoante a sua fonte.

Os dados referentes aos cimentos com origem em Portugal, resultam de uma entrevista realizada na fábrica do Outão, em que foi disponibilizado o valor médio dos quilos de CO<sub>2</sub> emitido por tonelada de clínquer e a respectiva percentagem de incorporação nos cimentos mais comumente fabricados, desconhecendo-se pormenores relativamente às fronteiras admitidas no processo de fabrico.

Na Tabela 6, vem discriminado o tipo, a percentagem de clínquer teórica e a origem de cada cimento considerado nos inventários analisados.

Tabela 6 – Tipo de cimentos considerados.

Nomenclatura original	Classificação		Clínquer (%)	Origem
Cement Portland I	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Holanda
Cement Portland	Tipo II/A-S	Cimento Portland de escória	80-94	Holanda
Blastfurnace slag cement	Tipo III/B	Cimento de alto forno	20-34	Holanda
Cement Hoogoven I	Tipo III/B	Cimento de alto forno	20-34	Holanda
Cement Portland ash	Tipo IV/B	Cimento pozolânico	45-64	Holanda
Cement CH	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Suíça
Cement N	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Suécia
Portland cement NL1	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Holanda
Cement S	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Suécia
Cement SF1	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Finlândia
Cement SF2	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Países Nórdicos
Portland cement A	Tipo II/A-S	Cimento Portland de escória	80-94	Áustria
Portland cement NL2	Tipo II/A-S	Cimento Portland de escória	80-94	Holanda
Portland cement NL3	Tipo II/B-S	Cimento Portland de escória	65-79	Holanda
Blast furnace slag cement NL1	Tipo III/B	Cimento de alto forno	20-34	Holanda
Blast furnace slag cement NL2	Tipo III/B	Cimento de alto forno	20-34	Holanda
Cimento Portland 42,5	Tipo I	Cimento Portland	95-100	Portugal
Cimento Portland de Calcário 42,5	Tipo II/A-L	Cimento Portland de Calcário	80-94	Portugal
Cimento Portland de Calcário 42,5	Tipo II/B-L	Cimento Portland de Calcário	65-79	Portugal
Cimento Portland de Calcário 32,5	Tipo II/B-L	Cimento Portland de Calcário	65-79	Portugal

De acordo com os autores, os cinco primeiros valores disponíveis para o estudo foram baseados no Software SimaPro, v. 4.0, 1997, e os restantes valores são dados da CEMBUREAU, exceptuando os quatro últimos valores que respeitam a dados provenientes da fábrica SECIL - Outão.

#### 4.2.2. Energia Eléctrica

A energia eléctrica é um bem vital para a sociedade moderna, que necessita de um fornecimento contínuo e de tensão dentro de limites bem definidos, de forma a satisfazer as suas necessidades a nível económico e social.

A energia eléctrica pode ser produzida a partir de fontes não renováveis ou convencionais utilizadas nas centrais termoeléctricas (combustíveis fósseis: derivados do petróleo, carvão, gás natural e urânio), ou de fontes renováveis como a energia solar, hídrica, eólica, das ondas, das marés, da biomassa e

geotérmica. A Figura 11 mostra como a energia produzida nas centrais hídricas e termoelétricas é transferida para a rede de transporte por linhas de Muito Alta Tensão (MAT) e, por intermédio de transformadores, a energia passa das redes de muito alta tensão para as redes de alta, média e baixa tensão e, finalmente, chega aos consumidores. Outras instalações, as de baixa potência, como minihídricas, eólicas, solar fotovoltaicas e de cogeração podem ainda ser ligadas às redes de distribuição [29].

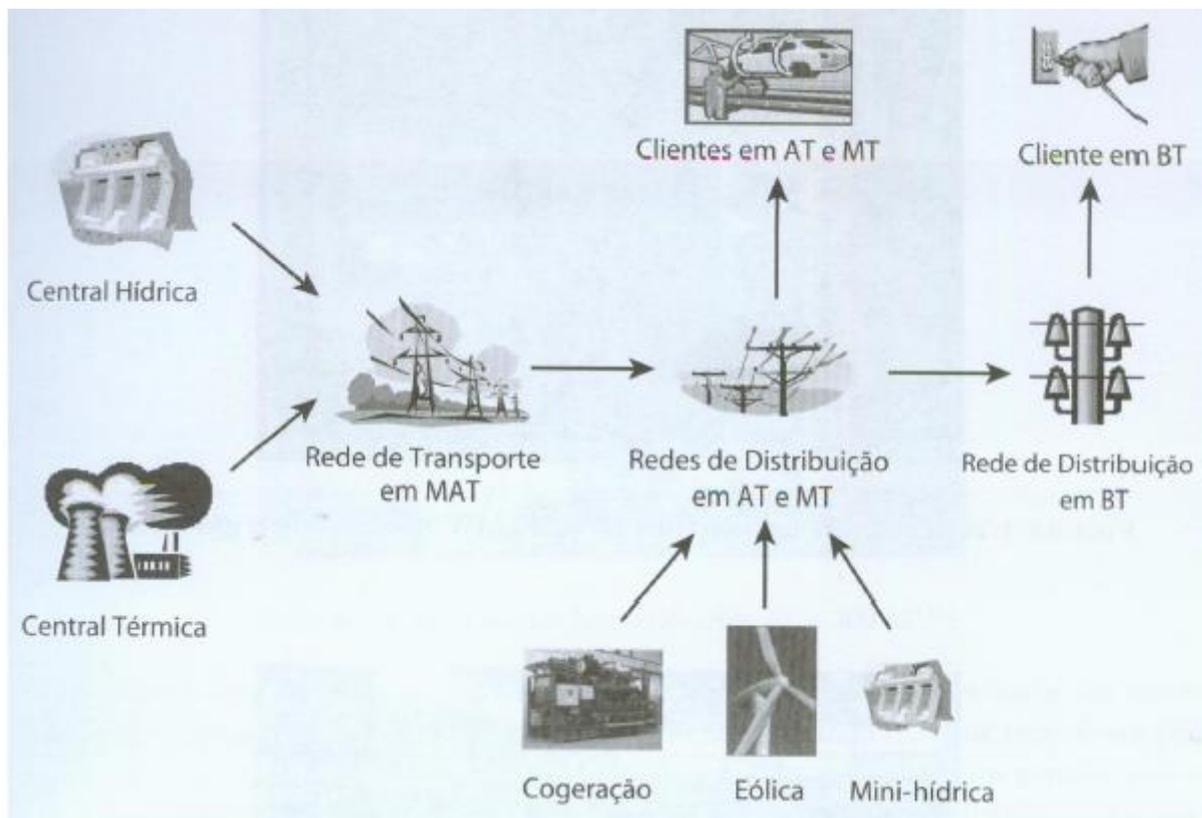


Figura 11 - Estrutura do sistema de energia elétrica [29].

A contabilização das emissões de CO<sub>2</sub> originadas apenas pela utilização de energia elétrica, pelo uso de vários equipamentos até à colocação do betão em obra, como as máquinas de serração das cofragens, máquinas britadoras, etc., foi estimada tendo por base a média anual dos valores do fornecedor "EDP Serviço Universal" referente ao ano 2010.

Dependendo da tecnologia utilizada, pela observação da Figura 12<sup>11</sup>, é possível verificar a variação mensal da energia elétrica produzida ao longo do ano de 2010. Associado a este "mix" de produção está também associada uma componente carbónica devida ao consumo da energia elétrica. Nesta figura é ainda possível constatar a dependência das condições do meio, isto é, em anos (ou meses) de chuva abundante é possível produzir uma grande quantidade de energia a partir de fontes hídricas (fonte renovável), havendo menor necessidade de produção de electricidade por via das centrais termoelétricas, isto é, através de fontes não renováveis (derivados do petróleo, carvão, etc.).

<sup>11</sup> Baseado nos valores fornecidos pela EDP Serviço Universal- consultar ANEXO 4.

Os valores energéticos utilizados referentes à energia consumida, resultante da potência das máquinas (kWh) e do tempo de duração do processo, foram majorados por um factor de 5% que corresponde às perdas decorrentes da passagem da corrente pela respectiva linha de transporte de energia. Na verdade, este factor depende da distância percorrida pela energia nas linhas de transporte e distribuição (que é de difícil contabilização, pois não se sabe ao certo de onde provém a energia que é consumida num ponto), e que parte desta distância é realizada em alta tensão e baixa tensão, sendo que esta última gera mais perdas de energia.

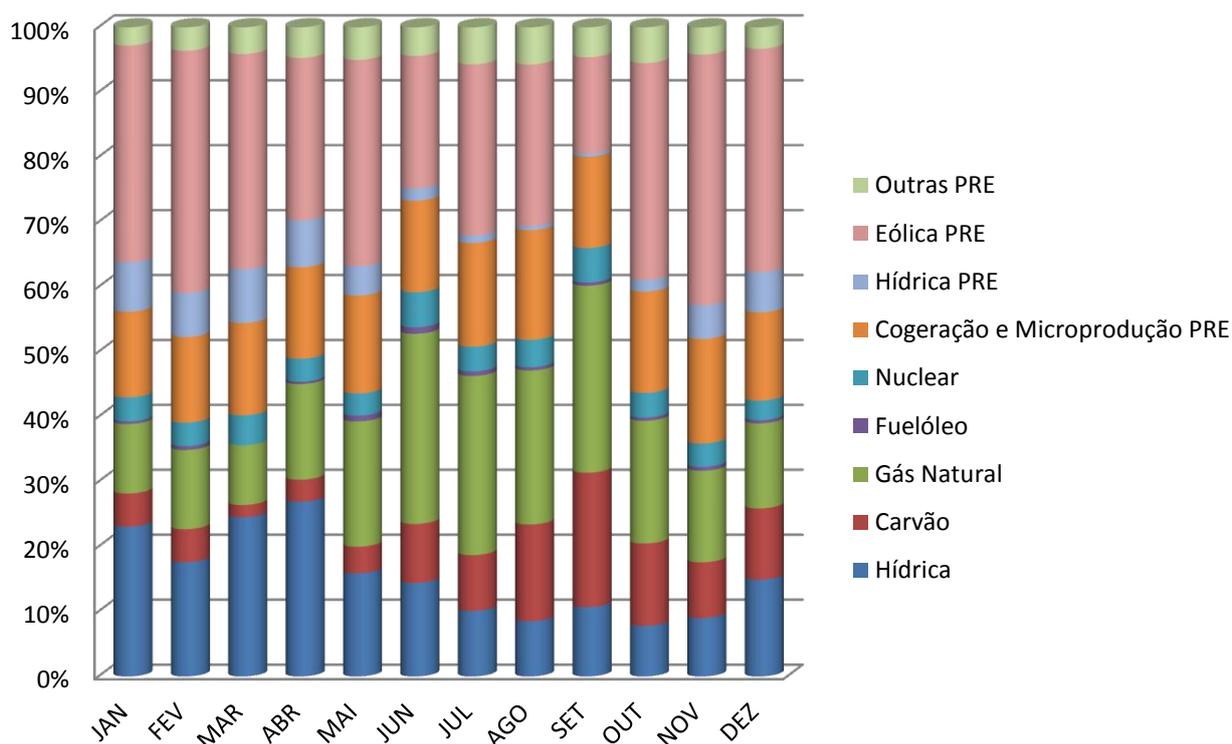


Figura 12 - Evolução Mensal da Energia Eléctrica Consumida, por Tecnologia (ano de 2010).

### **4.2.3. Água**

A quantidade de energia que é gasta para levar água até à central de betão pronto ou à obra em causa, situada genericamente em território nacional, depende de onde se capta, onde se trata, qual o tratamento associado, distância ao ponto de consumo, a orografia da região, tipo de tratamento, a eficiência das estações elevatórias, etc. Pelo que, identificar qual a energia consumida por metro cúbico de água ( $\text{kW}/\text{m}^3$ ) desde a origem (captações/furos), passando pela produção (ETA – Estação de Tratamento de Águas), pelo transporte (estações elevatórias, equipamentos existentes na adução e distribuição, etc.) até aos pontos de consumo (contadores), torna-se difícil de poder quantificar. Procurou-se obter dados junto da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), não sendo possível conseguir quantificar todos os processos acima descritos, pelo que estes se encontram representados, de acordo com os dados disponíveis, pelos resultados de consumo de energia de bombeamento de instalações elevatórias, dado por metro cúbico de água elevada à altura de 100 m, referentes ao ano de 2009 (ANEXO 5).

### **4.2.4. Veículos e Equipamentos**

As emissões derivadas dos transportes e máquinas foram baseadas em dados europeus, no entanto, estes são sempre dados subjectivos, uma vez que estes valores dependem sempre em última análise das características próprias do veículo, do tipo de condução, da quantidade de carga, etc. Para diferenciar as viagens realizadas por veículos pesados com carga e sem carga foi aplicado um factor de 0,8 no seu consumo. Para a recolha de dados referentes aos veículos de corte e recolha de árvores, para fabrico das cofragens, foram consultadas empresas do ramo.

Os valores utilizados para quantificar os consumos de outros veículos especiais, como auto-betoneiras, e vários dos equipamentos utilizados nas várias fases ao longo do fabrico de betão foram baseados em valores meramente indicativos, retirados de algumas entrevistas realizadas com empresas do respectivo sector ou de trabalhos desenvolvidos no mesmo âmbito, sendo que estes em muito dependem da frota de veículos e equipamento disponível por parte do empreiteiro que realiza a obra ou das empresas que prestam serviços em determinada fase do processo de colocação do betão em obra.

### 4.3. Caracterização da Produção de CO<sub>2</sub>

#### 4.3.1. Cimento

Na Tabela 7 apresentam-se os dados referentes às emissões de gramas CO<sub>2</sub>, sendo analisados um quilo de cimento e um metro cúbico de betão. É de fácil constatação as consequências das falhas de recolha nos inventários (explanados no sub-capítulo 4.2.1), onde alguns dos resultados não são os previstos.

Tabela 7 – Quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente emitido por quilo de cimento e por m<sup>3</sup> de betão.

Tipo	Cimento	CO <sub>2</sub> eq (g/kgcimento)	CO <sub>2</sub> eq (g/m <sup>3</sup> betão)	Média	Máx/ Min
I	Cement Portland I	355	105435	222620,1	max: 253341  min: 105435
	Cement CH	810	240570		
	Cement N	817	242649		
	Portland cement NL1	853	253341		
	Cement S	808	239976		
	Cement SF1	788	234036		
	Cement SF2	823	244431		
	Cimento Portland 90 SECIL	743	220522,5		
II	Cement Portland	920	273240	184606,7	max: 273240  min: 85833
	Portland cement A	586	174042		
	Portland cement NL2	807	239679		
	Portland cement NL3	289	85833		
	Cimento Portland Calcário 77 SECIL	635	188669,3		
	Cimento Portland Calcário 70 SECIL	578	171517,5		
	Cimento Portland Calcário 65 SECIL	536	159266,3		
III	Cement Hoogoven I	222	65934	67270,5	max: 100386  min: 39798
	Blastfurnace slag cement	338	100386		
	Blastfurnace slag cement NL1	212	62964		
	Blastfurnace slag cement NL2	134	39798		
IV	Cement Portland ash	695	206415	206415	206415

No gráfico da figura seguinte, baseado nos valores da Tabela 7 torna-se fácil agrupar determinados valores de acordo com o tipo de cimento, havendo contudo valores díspares que lembram que se deve fazer sempre uma leitura delicada dos dados dos inventários recolhidos.

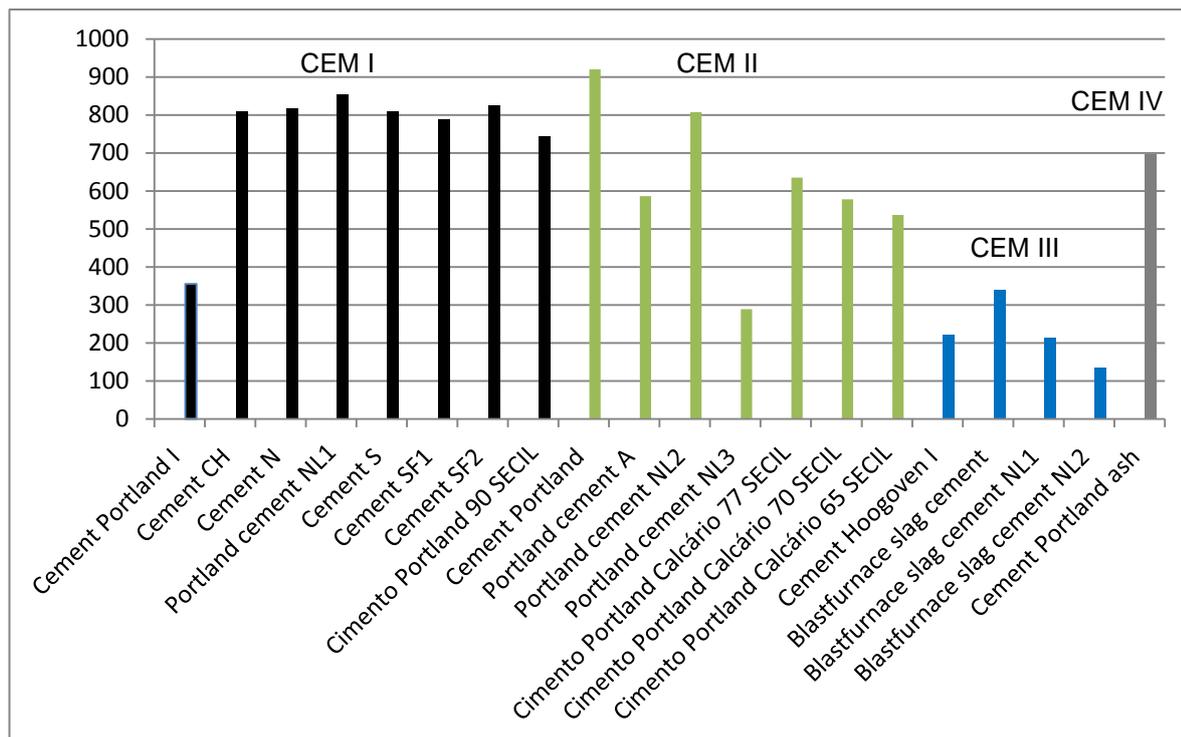


Figura 13 – Quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente emitido por quilo de cimento.

Apesar de não haver uma uniformidade completa dos dados dos vários tipos de cimento, em parte causados pela falta de informação acerca dos limites dos sistemas adoptados, a partir dos valores apresentados na Tabela 7 e da Figura 13, verifica-se que, dependendo do tipo de cimento, alguns dos valores de emissões de CO<sub>2</sub> podem ser facilmente agrupados (caso do CEM I e CEM III). Outras conclusões podem ainda ser retiradas:

- Os valores de CO<sub>2</sub> podem chegar a valores altos, com uma média acima de 800 g de CO<sub>2</sub> por kg de cimento (CEM I), excluindo o primeiro valor anormal de 355 gCO<sub>2</sub>/kg cimento. Este tipo de cimentos é de todos o que possui maior percentagem de clínquer o que confirma, conforme esperado, que a produção de clínquer é uma relevante fonte de emissões de CO<sub>2</sub>, para além de ter um grande consumo de energia. Pelo que se pode afirmar que a percentagem de clínquer presente no cimento é decisiva no que diz respeito ao impacto ambiental do cimento.
- Constata-se que, por vezes, entre cimentos do mesmo tipo existem algumas discrepâncias entre os dados, como é o caso do valor extremamente baixo para os cimentos do Tipo I do “Cement Portland I”, não sendo expectável que um cimento com uma incorporação de clínquer de 95-100% no cimento tenha tão baixas emissões de CO<sub>2</sub>.
- Para o cimento “Portland cement NL3”, no caso dos cimentos Tipo II, verifica-se um valor de emissões demasiado reduzido para um tipo de cimento que incorpora, no mínimo, 65% de clínquer no cimento, o que poderá dever-se a possíveis erros das fontes de dados. Verifica-se ainda alguns valores de emissões de CO<sub>2</sub> para o tipo de CEM II superiores aos valores de CEM I, algo que à partida não seria expectável devido à menor presença de clínquer nestes.

- Verifica-se também, para o CEM II, uma grande dispersão dos valores obtidos, ou seja, os valores apresentados referentes às emissões de CO<sub>2</sub> das fábricas de cimento não convergem para nenhum valor em especial (com excepção dos valores da SECIL – Outão, o que seria de esperar, uma vez que nestes está a trabalhar-se com percentagens directas de incorporação de clínquer no cimento), como se constata para os valores de CEM I e CEM II, tal facto poderá dever-se a uma não uniformidade da recolha de dados. Ainda para este tipo de cimentos verifica-se o máximo das emissões de CO<sub>2</sub> (Cement Portland), mesmo acima dos CEM I com uma percentagem de incorporação de clínquer acima dos 95%.
- Os resultados do CEM IV apresentam apenas uma variante deste tipo de cimento (Cement Portlandash), o que é claramente insuficiente para se poder comparar, para além de que este apresenta um valor de emissão de CO<sub>2</sub> elevado quando em comparação com os restantes cimentos.
- Os valores apresentados não se referem ao CEM V, uma vez que não se conseguiu obter nenhuns valores de emissão de CO<sub>2</sub> referentes a este tipo de cimento.

Repare-se que, trabalhando com os valores médios da Tabela 7, entre os cimentos do Tipo I (grande percentagem de clínquer) e os cimentos do Tipo III (grande percentagem de substituição do clínquer) se pode deparar com uma variação considerável, de cerca de 65% de emissões de CO<sub>2</sub>.

Para uma exploração mais detalhada dos valores apresentados na Tabela 7, deve ser consultado o ANEXO 6 (onde se encontram todos os valores trabalhados, excepto os da fábrica SECIL – Outão). Neste conjunto de inventários, a energia consumida divide-se em energia eléctrica e térmica. A primeira diz respeito a todo o funcionamento das máquinas envolvidas no processo de fabrico do cimento, no entanto desconhece-se quais as máquinas tidas em conta (ventiladores, britador, moinho, etc.) nos diversos inventários. De notar ainda o facto dos dados de consumo eléctrico serem referentes a fábricas de cimento do centro e norte da Europa, onde a emissão de poluentes devido ao consumo de energia eléctrica varia consoante a sua origem (nuclear, hidroeléctrica, centrais térmicas, etc.). Apesar de não estar explícito nos inventários disponíveis, entende-se que a energia térmica diz respeito à energia consumida pelo forno (essencialmente combustíveis fósseis), assim como à fase de extracção da pedreira, ou seja está incluído o gasóleo das máquinas e o explosivo utilizado no desmonte da pedreira para obter a matéria-prima.

Deve-se ter em atenção que as emissões libertadas durante o processo do cimento (principalmente na fase de descarbonatação do calcário durante a clínquerização no forno) dependem bastante do tipo de combustível utilizado, do tipo de combustão que se dá (temperatura, quantidade de ar, etc.) e dos sistemas de purificação dos gases de escape. As reduções de emissões de CO<sub>2</sub> são notórias na utilização de cimentos com menor teor de clínquer. Esta redução importante acima dos 50% está directamente ligada à quantidade de adições usadas em substituição do clínquer.

### 4.3.2. Electricidade e Equipamentos

São várias as etapas durante o fabrico de betão em que é necessário recorrer a equipamentos cuja fonte é eléctrica. Para desenvolver o presente trabalho, a contabilização da quantidade de CO<sub>2</sub> por via de uso de fonte eléctrica, durante todo o processo de fabrico do betão a utilizar em obra, foi estimada tendo por base valores fornecidos pelo Departamento da Sustentabilidade e Ambiente da EDP, referentes ao ano de 2010, onde estão incluídas todas as tecnologias utilizadas para a produção da energia nacional (hídrica, carvão, gás natural, fuelóleo, nuclear, e Produção em Regime Especial: cogeração e microprodução, hídrica, eólica, e outras).

Através da observação da Tabela 8 verifica-se que o principal gás resultante do processo de combustão utilizado é o dióxido de carbono, seguido em menor quantidade de gases como o dióxido de enxofre, os óxidos de azoto e o cloreto de hidrogénio.

Tabela 8 - Impacto Ambiental - Emissões Específicas (EDP, em 2010).

Impacto Ambiental - Emissões Específicas													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	2010
CO <sub>2</sub> (g/kWh)	160	167	128	163	195	271	269	316	372	272	221	225	229,8
SO <sub>2</sub> (g/kWh)	0,7	0,7	0,4	0,6	0,7	1,1	1,1	1,7	2,2	1,5	1,1	1,3	1,1
NOX (g/kWh)	0,5	0,7	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	0,8	0,7	0,7	0,7
Resíduos Radioactivos (µg/kWh)	104	101	129	98	96	152	107	119	147	107	101	83	112,0

Com base na tabela apresentada, para efeitos de cálculo neste trabalho, foi utilizado o valor médio de 2010 de emissões de CO<sub>2</sub> de 229,8 gCO<sub>2</sub>/kWh. Este valor será tido em conta em todos os equipamentos eléctricos considerados na colocação do betão em obra, como no britador, máquina de corte e serração de árvores, na bomba de elevação e na grua afecta à obra.

A energia dispendida, correspondente à utilização de água, é representada por uma bomba elevatória com uma potência de 0,37 kWh/(m<sup>3</sup>x100m).

Todas as máquinas de serração debitam uma potência conjunta de 100 kWh e possuem uma produtividade 6 m<sup>3</sup> de madeira de cofragem por hora. Estes valores correspondem ao funcionamento de um conjunto de máquinas necessárias para a transformação da madeira, de forma a obter tábuas de cofragem com as dimensões pretendidas (descascadeira, galgadeira, multisserra, etc.).

Optou-se por se considerar a existência de uma central de betonagem (no caso de estudo, a uma distância máxima de 25 km do local da obra). Nesta, procede-se a operações de dosagem e encaminhamento dos materiais constituintes do betão para uma auto-betoneira, que terá de fazer a entrega em obra do betão com as propriedades especificadas. Todo o sistema da central de betão pronto debita uma potência total de 85 kWh e possui uma produtividade máxima de 50 m<sup>3</sup> de betão por hora.

O vibrador de betão eléctrico usado em obra possui uma potência máxima de 0,6 kWh, com a utilização deste equipamento pretende-se obter uma mistura uniforme do betão e sem bolhas de ar.

A grua considerada possui uma potência de 10,56 kWh e tem o objectivo de auxiliar no transporte de cargas tanto na vertical como na horizontal. No estudo de caso toma-se que esta trabalha três horas diárias, sendo que se conclui cada piso ao fim de 15 dias.

### 4.3.3. Veículos e Equipamentos

As principais emissões de CO<sub>2</sub> resultam do processo de produção de clínquer e cimento, nomeadamente das reacções químicas no forno de clínquer e da queima de combustíveis para manter a temperatura do forno. Contudo, existem outras fontes de emissão de CO<sub>2</sub> com um peso relativo no âmbito geral, que apesar de menos significativas, devem ser alvo de análise, tais como o uso de combustível durante a extracção de material da pedreira, a recolha da areia e madeira para as cofragens ou durante as fases de transporte dos materiais até à obra.

Para o caso em estudo foi utilizada uma metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa (CO<sub>2</sub>) de frotas de veículos em condições reais de utilização. Directamente relacionado com o consumo de combustível, obtiveram-se as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes de valores fixados.

Optou-se, então, por eleger para o transporte de materiais veículos pesados a gasóleo, com recurso a dados europeus de emissões, com uma autonomia/consumo considerado de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km, conforme apresentados no ANEXO 7. De onde se retira [30]<sup>12</sup>:

- Valor de emissão de CO<sub>2</sub> para pesados a gasóleo: 770 g CO<sub>2</sub>/km;
- Valor de emissão de CO<sub>2</sub> consoante o número de litros gastos numa actividade: 3140 gCO<sub>2</sub>/kgfuel.

Deve-se privilegiar a utilização de materiais locais para reduzir as necessidades de transporte (e conseqüente carga de energia e emissões, assim como para fomentar a economia local), pelo que para todas as distâncias de transporte consideradas neste trabalho (fábrica – central de betão pronto, zona de extracção de areia - central de betão pronto, pedreira - central de betão pronto, central de betão pronto – obra e obra - aterro) foi tomado um valor máximo de 50 km.

A máquina de corte da madeira tem um consumo de 12 l/h e uma produtividade de 20 m<sup>3</sup>/h. Na Figura 14, apresenta-se a média das percentagens dos tempos dispendidos em todas as fases de processamento das árvores [31].

---

<sup>12</sup> Valores aproximados dos apresentados por [4] para o caso português.

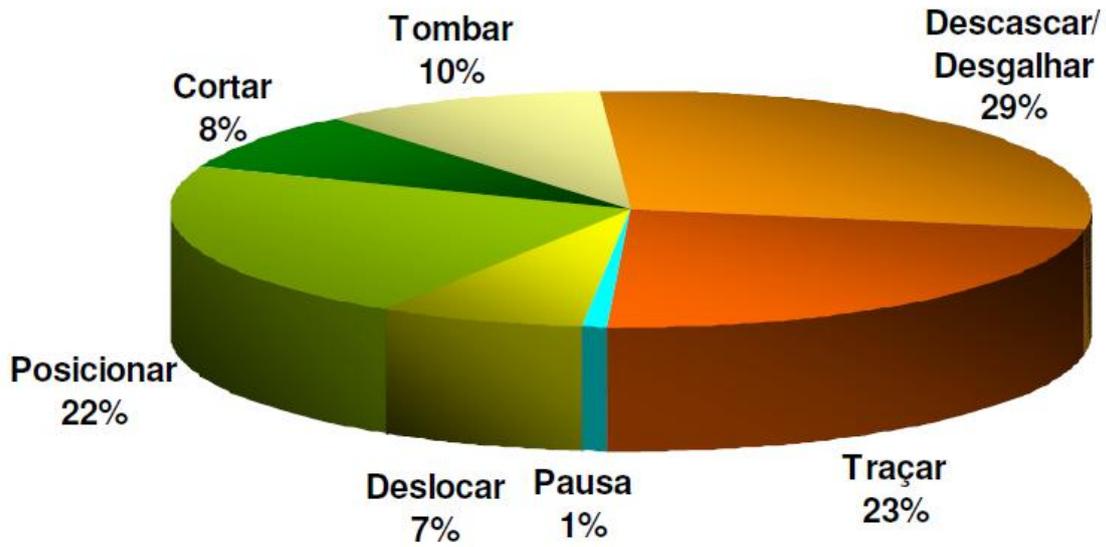


Figura 14 – Fases de processamento das árvores [31].

A utilização de escavadora, para as situações de trabalho de escavação das fundações e extracção de areia, foi considerada com um consumo de gasóleo de 60 l/h.

A bomba utilizada para bombear o betão para os pisos elevados do edifício tem um consumo de combustível de 30l/h e uma capacidade de produção horária de 23l/h.



## Capítulo 5 – Aplicação a um Caso de Estudo

### 5.1. Estrutura de Referência

Para uma melhor compreensão dos dados anteriormente expostos, procurou estabelecer-se uma ligação à realidade portuguesa, pelo que vai ser tomado em consideração um edifício tipo caracterizado por ter 7 pisos elevados (Figura 15), com uma área de 300 m<sup>2</sup> por piso, isto é, com uma área total de 2100 m<sup>2</sup>, numa região urbana genérica em território nacional. Os dados apresentados nos próximos subcapítulos apresentam-se reportados ao fabrico de 1 m<sup>3</sup> de betão, pelo que os dados são trabalhados de forma a que se consiga quantificar as gCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de betão (unidade funcional utilizada). Vai ser tomada para a espessura equivalente de piso de 0,20 m (tomando-se, por exemplo o valor de 0,17 m de espessura de laje, acrescentando-se a esta 20% da espessura, correspondente ao volume total de betão proveniente das vigas, pilares e outros), pelo que no final irá ser feita uma abordagem da quantidade de CO<sub>2</sub> que é libertada para executar 1 m<sup>2</sup> de um piso do prédio tipo tomado (0,20 m<sup>3</sup> de betão).

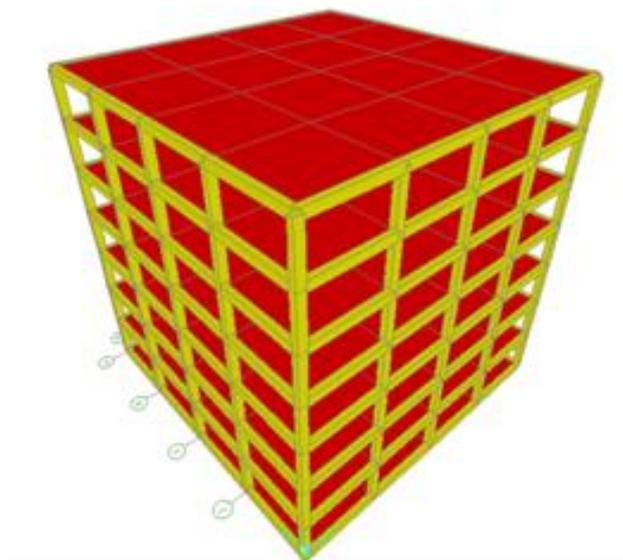


Figura 15 – Edifício tipo considerado.

Para todas as relações necessárias, foi adoptado um betão com as seguintes características:

Traço:	Volume-	1	:	2	:	4
	Peso-	1	:	2,17	:	3,92

Onde, por m<sup>3</sup> de betão se tem:

Tabela 9 – Proporções para um betão comum para construção de habitações.

	kg	m <sup>3</sup>	%
<b>Cimento</b>	297	0,21	13
<b>Areia</b>	644,5	0,42	28
<b>Brita</b>	1164	0,84	50
<b>Água</b>	202	0,202	9

## 5.2. Cimento

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> do cimento, por m<sup>3</sup> de betão encontra-se na Tabela 10. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 10 – Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “cimento”.

<b>Cimento</b>				
<b>CO<sub>2</sub> (g/m<sup>3</sup> betão)</b>				
<b>Tipo</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
<b>Produção</b>	222620,1	184606,7	67270,5	206415,0
<b>Transporte</b>	485,1			
<b>Σ</b>	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1

### 5.3. Agregados

Relembra-se que simplificadaamente se encontram representados pelo britador todos os trabalhos de preparação da brita até à fase de transporte para a obra.

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> dos agregados, por m<sup>3</sup> de betão, encontra-se na Tabela 11. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8- Memória de cálculos.

Tabela 11 – Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “agregados”.

Agregados	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Britador	202,5
Transporte	1940,4
<b>Σ</b>	<b>2142,9</b>

### 5.4. Água

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da energia consumida derivadas do transporte da água (considerou-se apenas a energia de bombeamento de instalações elevatórias) encontra-se na Tabela 12. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 12 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “água”.

Água	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Est. Elevatória	18,0
<b>Σ</b>	<b>18,0</b>

## 5.5. Areia

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> da areia utilizada, por m<sup>3</sup> de betão, encontra-se na Tabela 13. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 13 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “areia”.

Areia	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Extracção	1868,3
Transporte	970,2
<b>Σ</b>	<b>2838,5</b>

## 5.6. Cofragem

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> das cofragens utilizadas, por m<sup>3</sup> de betão, encontra-se na Tabela 14. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 14 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “cofragem”.

Cofragem	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Corte	160,1
Serração	4,0
Transporte	462,0
<b>Σ</b>	<b>626,2</b>

## 5.7. Central de Betonagem

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> na Central de Betonagem, por m<sup>3</sup> de betão, encontra-se na Tabela 15. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 15 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “Central de Betonagem”.

Central de Betonagem	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Produção	372,9
Auto-bet.	12685,0
Σ	13057,9

## 5.8. Escavação

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> das escavações correspondentes à área de implantação do edifício, por m<sup>3</sup> de betão, encontra-se na Tabela 16. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 16 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “escavação”.

Escavação	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Escavação	2780,2
Combustível	2887,5
Σ	5667,7

## 5.9. Colocação do Betão em Obra

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub> correspondentes à colocação do betão em obra encontra-se na Tabela 17. Todos os cálculos compreendidos para chegar a estes resultados encontram-se no ANEXO 8.

Tabela 17 - Emissões de CO<sub>2</sub> derivadas da actividade “obra”.

Em obra	
Actividade	CO2 (g/m3 betão)
Bomba	3481,3
Vibrador	12,1
Grua	1911,0
Σ	5404,4

## 5.10. Valores por m<sup>3</sup> de Betão

Na tabela seguinte são apresentados os resultados finais por actividade considerada. Destaca-se a actividade “cimento” com maiores emissões relativamente a todas as outras actividades.

Tabela 18 – Tabela resumo das emissões de CO<sub>2</sub> por m3 de betão.

CO2 (g/m3 betão)				
	I	II	III	IV
Cimentos	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1
Agregados	2142,9			
Água	18,0			
Areia	2838,5			
Cofragem	626,2			
C. Betonagem	13057,9			
Escavação	5667,7			
Em obra	5404,4			
Σ	252860,7	214847,4	97511,2	236655,7

Os gráficos da Figura 16 permitem observar, por tipo de actividade, a distribuição percentual de emissões de CO<sub>2</sub>, de acordo com o tipo de cimento utilizado. A actividade de produção de cimento distingue-se das restantes actividades pelas maiores emissões de CO<sub>2</sub> origina. Nos betões que utilizam cimento com maior percentagem de clínquer, este valor chega mesmo a atingir o valor de 88% do total de emissões envolvidas em todo o processo de colocação do betão em obra. No tipo de betões que utiliza maiores quantidades de adições este valor baixa consideravelmente para os 69%. Todas as restantes matérias-primas e processos revelam não ter grande peso quando em comparação com a produção do cimento.

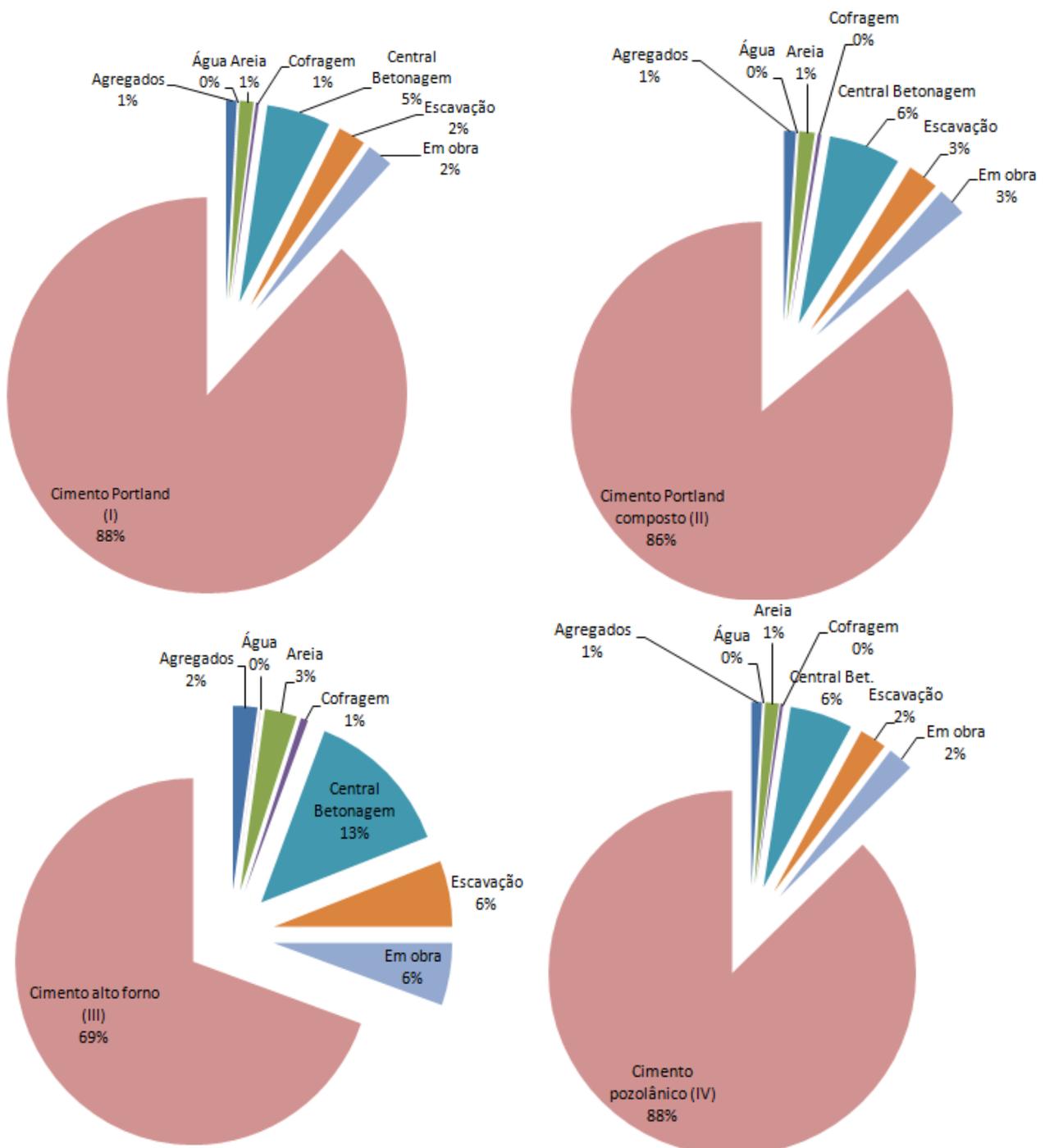


Figura 16 - Emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão por tipo de actividade (percentagem).

De seguida é apresentada na Tabela 19 a síntese das emissões de CO<sub>2</sub> devidas à produção de cimento em fábrica (onde estão incluídos todos os processos desde a recolha da matéria-prima na pedreira até o cimento ser ensacado ou estar pronto para seguir para obra a granel), devido ao consumo de combustível (veículos de transporte e máquinas), e devido ao consumo de electricidade de todas as máquinas consideradas na produção do betão.

Na Figura 17 verifica-se que, independentemente do tipo de betão, a produção de cimento continua salientar-se pela maior quantidade de CO<sub>2</sub> emitido, seguida pelo consumo de combustível, ao nível do transporte e de máquinas, e apenas uma pequena percentagem é afectada ao consumo de electricidade.

Tabela 19 - Emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão por processo principal.

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão por processo principal [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)]				
<b>Produção de cimento*</b>	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1
<b>Transporte</b>	27720,2			
<b>Electricidade</b>	2520,5			

\*tipos de cimento

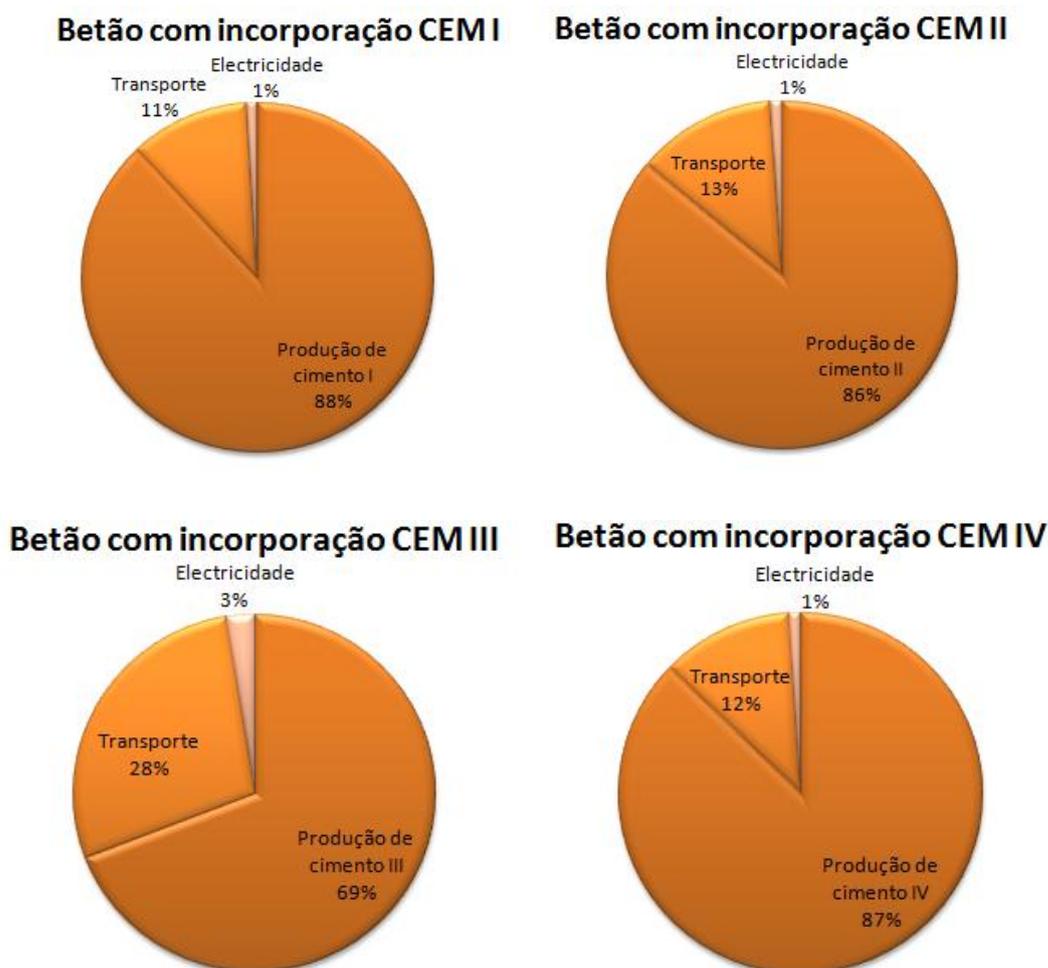


Figura 17 - Emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão por processo principal (percentagem).

## 5.11. Valores por m<sup>2</sup> de Piso

Após obter os valores de emissões de CO<sub>2</sub> para 1 m<sup>3</sup> de betão, é possível trabalhá-los, a fim de obter o valor de emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso.

O registo final das emissões de CO<sub>2</sub>, por m<sup>2</sup> de piso, para uma espessura equivalente de 0,20 m, encontra-se na Tabela 20. Na Figura 18 é ainda possível visualizar o gráfico com os valores finais obtidos.

Tabela 20 – Emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso.

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de piso [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> piso)]				
	I	II	III	IV
<b>Cimentos</b>	44621,0	37018,4	13551,1	41380,0
<b>Agregados</b>	428,6			
<b>Água</b>	3,6			
<b>Areia</b>	567,7			
<b>Cofragem</b>	125,2			
<b>C. Betonagem</b>	2611,6			
<b>Escavação</b>	1133,5			
<b>Em obra</b>	1080,9			
<b>Σ</b>	50572,1	42969,5	19502,2	47331,1

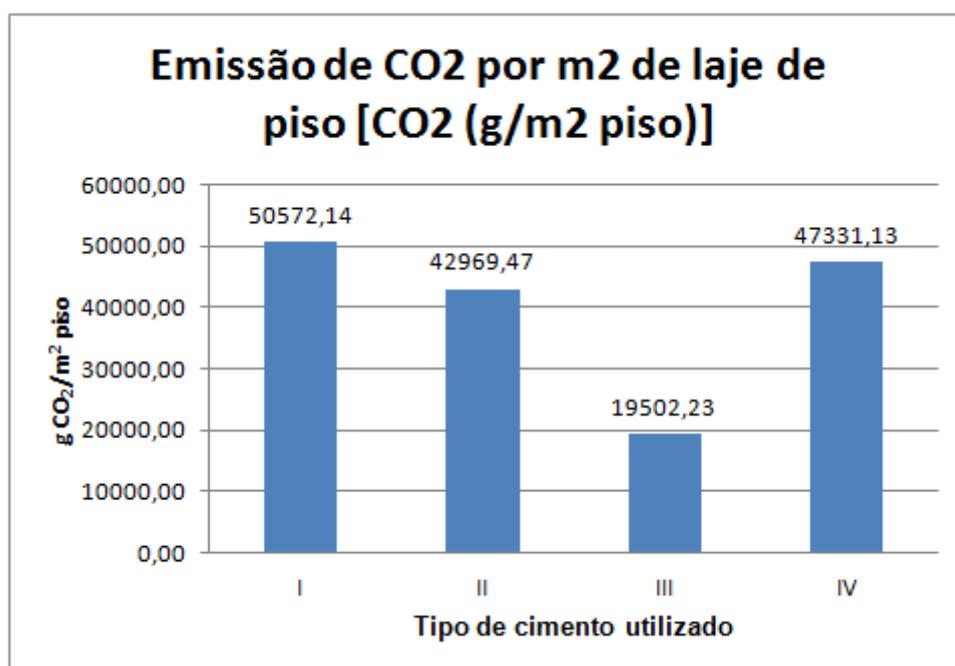


Figura 18 - Emissão de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso (gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> piso).

## 5.12. Análise dos Resultados Obtidos

Para uma correcta análise dos dados obtidos, não se deve abstrair da origem dos mesmos. Na realização deste trabalho foram tidas em conta inúmeras aproximações e muitos dos valores recolhidos, com os quais se trabalhou, poderão não ser os mais actualizados nem os mais exactos, para uma construção real. Todos os cálculos apresentados encontram-se apenas referidos ao betão e seus constituintes, não se fazendo qualquer referência às armaduras existentes na estrutura. Contudo, deverão ser suficientes para uma primeira aproximação na busca de valores de referência no campo da construção.

Os dados existentes relativos à energia eléctrica, referentes à produção de cimento (onde se verificam claramente maiores emissões de CO<sub>2</sub>), dizem respeito a fábricas do centro e norte da Europa, sendo que é importante lembrar que os dados acerca da obtenção dos valores não são sempre claros, note-se que a emissão de poluentes devido ao consumo de energia eléctrica varia consoante a sua origem (nuclear, hidroeléctrica, centrais térmicas, etc.), ou seja, depende de país para país. Os valores obtidos relativos às emissões dependem também de inúmeros outros factores:

- Tipo de combustível utilizado/ utilização de combustíveis secundários;
- Eficiência do forno;
- Equipamentos de purificação dos gases expelidos;
- Utilização de resíduos que, normalmente seriam queimados numa incineradora (com uma eficiência expectável menor) e que, desta forma, servem de combustível num forno considerado de alta performance.

Já para os consumos da energia eléctrica em território nacional foram tomados os valores fornecidos pela EDP. Face ao que foi referido anteriormente, torna-se fácil de compreender a dependência das emissões de CO<sub>2</sub> de acordo com a proveniência da electricidade. O simples facto de fazer variar o parâmetro referente às emissões tem um peso considerável. Em anos de Invernos rigorosos, de grandes chuvas, consegue-se obter uma grande quantidade de energia a partir das barragens, permitindo que as centrais termoeléctricas, grandes produtoras de CO<sub>2</sub>, abrandem a sua produção resultando numa produção de energia mais limpa.

Em vez de se tomar apenas como referência as emissões relativas ao ano de 2010 da EDP, e se for considerado um cenário de baixo aproveitamento de energia gerada a partir de fontes renováveis, isto é, fraca pluviosidade e de fraco aproveitamento eólico, pode obter-se um cenário onde a energia pode ser maioritariamente gerada nas centrais termoeléctricas. Tomando-se os valores apresentados na Declaração Ambiental da Central Termoeléctrica do Pego referente ao ano de 2009, pode simular-se, para este tipo de centrais, um valor de emissões de 835 gCO<sub>2</sub>/kWh. Desta forma, para as várias fases de preparação do betão, obtém-se um aumento das emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> apenas devidas à

electricidade, passando de um valor de 504,1 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de piso (utilizando valores da EDP- Serviço Universal), para um valor consideravelmente mais elevado de 1831,70 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

A actividade relacionada com o transporte e utilização de veículos com consumo de combustível apresenta um maior peso do que as emissões devidas ao consumo de electricidade, de acordo com os critérios definidos para o caso de estudo possui uma fatia das emissões gerais de 11 a 28%. A sensibilidade da análise do impacte ambiental da variação da distância percorrida pelos veículos pesados e auto-betoneiras pode ser testada através da duplicação da distância percorrida por estes veículos. Cálculos realizados mostram que se passa a obter 8394 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> em vez dos 5544 gCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de piso (referente apenas ao consumo de combustível), que, desta forma, pode chegar aos 37% das emissões totais de CO<sub>2</sub>.

Contudo, grande parte das emissões de CO<sub>2</sub> verificadas, em todo o processo de produção e colocação em obra do betão, ficam a dever-se à produção de cimento (69-88%) ainda na fábrica, devido principalmente ao processo de calcinação. Para reduzir os impactes deste facto, resta aos técnicos e engenheiros responsáveis pela escolha do cimento optarem por cimentos com reduzida incorporação de clínquer, pois é claro o distanciamento dos CEM III analisados, cujo constituinte principal é a escória de alto forno, relativamente aos restantes cimentos.

Hoje em dia, consegue-se obter as mesmas resistências de betão com diferentes percentagens de incorporação de clínquer no cimento, pelo que o único impedimento à utilização dos cimentos com grande substituição do clínquer por adições, pode ser o seu preço, pois o mercado nacional poderá não ser suficiente dar resposta a um aumento da procura deste tipo de resíduos, tendo de se recorrer a importações de escórias de alto forno, cinzas volantes, etc. Contudo, a indústria da construção poderá ter de ponderar todas as medidas capazes de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, pois avizinham-se diminuições das licenças de emissões de gases de efeito de estufa permitidas pela União Europeia, o que se poderá traduzir em fortes penalizações financeiras para os infractores. Da única empresa portuguesa, produtora de cimento, incluída nestes inventários é possível observar a tendência de substituição do clínquer (mineral que reage no processo de hidratação, durante a calcinação) por diferentes percentagens calcário (que não sofre calcinação), sem comprometer a resistência do betão.

Para além das emissões de CO<sub>2</sub> estudadas, envolvidas na obtenção final do betão, há que lembrar a emissão de outros gases, e que em todo este processo outros factores estão associados como a alteração paisagística, contaminação por pó e outros gases e ruídos que são agentes que se traduzem de forma negativa, principalmente, quando existe algum núcleo habitacional junto da pedreira.

### 5.13. Folha de Cálculo - Programa de Cálculo das Emissões de CO<sub>2</sub> Emitido na Construção da Estrutura de um Edifício

A utilização de softwares de ACV é de alguma complexidade, o que poderá obrigar a uma formação específica de utilização do mesmo, consumindo, deste modo, bastante tempo. A utilização da Folha de Cálculo disponibilizada trata-se de uma interface interactiva de utilização intuitiva. Esta interface permite obter, em função de determinados parâmetros, as emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup> de betão e por m<sup>2</sup> de piso de um edifício tipo. Os valores dos parâmetros podem ser facilmente alterados e adaptados, a uma outra situação, mesmo que se desviem do caso de estudo equacionado para este trabalho. Para realizar alterações nos dados iniciais deverá clicar-se na célula pretendida e introduzir novos valores na Folha de Cálculo “Dados”. Desta forma altera-se o inventário previamente disponível e justificado ao longo do Capítulo 4. Após terminado o passo descrito anteriormente, estas alterações irão ser automatizadas nas Folhas de Cálculo seguintes relativas aos vários produtos e processos da colocação do betão em obra, que poderão ser consultadas para uma melhor compreensão dos cálculos envolvidos.

Os resultados finais estimados, relativos ao impacto ambiental da colocação do betão em obra, deverão ser consultados na Folha de Cálculo “Tabelas Finais”, estes são apresentados sob a forma de gráficos e tabelas, para que os dados contidos nesta Folha possam ser facilmente compreendidos. Permite-se assim que os utilizadores, sem conhecimentos avançados de informática ou em técnicas de ACV, consigam interpretar esses dados.

De seguida apresenta-se a Folha de Cálculo “Dados”. Nesta encontram-se as possibilidades de “inputs” permitidas pela folha de cálculo denominada por *Programa de Cálculo das Emissões de CO<sub>2</sub> Emitido na Construção da Estrutura de um Edifício*. Podem verificar-se algumas limitações relativamente ao programa apresentado, uma vez que não é disponibilizada mais nenhuma opção de incremento do número e tipo de máquinas assim como processos considerados. Contudo, dado que o Excel é uma ferramenta de simples utilização, este facto pode ser contornado por alguém com alguma experiência neste campo.

#### **Programa de Cálculo de CO<sub>2</sub> Emitido na Construção da Estrutura de um Edifício** **Impacte Ambiental da Estrutura dos Edifícios - A Produção de CO<sub>2</sub>**

Preencher espaços:

Traço do betão considerado						
	Cimento		Areia		Brita	
Traço:	Volume-	1	:	2	:	4
	Peso-	1	:	2,17	:	3,92
1m3 BETÃO:						
		kg	m3	l		
	Cimento	297	0,21	-		
	Areia	644,49	0,42	-		
	Brita	1164,24	0,84	-		
	Água	202	0,202	202		

**Espessura média dos pisos**  
 $h = 0,2$  (m)

**Volume de betão por m2 de laje**  
 $V = 0,2$  (m3)

**Factor de multiplicação para obter 1m3 de betão**  
 $V \times 5 = 1$

**Electricidade**  
 EDP (2010)  $229,8$  (gCO2/kWh)  
 Factor de perdas  $5$  (%)

**Combustível (gasóleo)**  
 1 litro de combustível =  $0,85$  (kg de combustível)  
 Emissões de CO2  $3140$  (gCO2/kgfuel)

Veículos de transporte	CO2 g/km
Veículo pesado com carga	770
Veículo pesado sem carga	616
Carga máx. do transporte (m3)	15

**Autor:**  
Considerado um factor de 0,8

Distância entre (km):

Fábrica- Central	25
Central- Fábrica	25
Pedreira- Central	25
Central- Pedreira	25
Extracção- Central	25
Central- Extracção	25
Obra- Aterro	50
Aterro- Obra	50
Corte mad. - Obra	50
Obra - Corte mad.	50
Central - Obra	25
Obra - Central	25

**Britador**  
 Potência  $200$  (kW)  
 Capacidade instantânea do britador: **(ou)**  
 min (t/hora)  $115$  média (t/hora)  $277,5$   
 máx (t/hora)  $440$

**Cofragem**  
 Máquina de corte:  
 Consumo de combustível  $12$  (l/h)  
 Produtividade  $20$  (m3/h)  
 Máquina de serragem:  
 Espessura da cofragem  $0,02$  (m)  
 Potência  $100$  (kWh)  
 Produtividade  $6$  (m3/h)

**Estação Elevatória**  
 Potência  $0,37$  (kWh/(m3x100m))

**Edifício**

Nº pisos elevados

Área por piso  (m<sup>2</sup>)

Área de implantação  (m<sup>2</sup>)

Profundidade de escavação equivalente das fundações  (m)

Lajes

BETÃO			
Piso	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Cofragem (m <sup>2</sup> )
0	300	60	-
1	300	60	300
2	300	60	300
3	300	60	300
4	300	60	300
5	300	60	300
6	300	60	300
7	300	60	300
<b>Total</b>	2400	480	2100
			2520 (+20% pilares e vigas)

**Escavadora**

Duração de um ciclo  (minutos)

Capacidade de extracção por ciclo  (m<sup>3</sup>/5mins)

Consumo de combustível (l/h)

**Central de Betonagem**

Potência conjunta  (kWh)

Produção horária  (m<sup>3</sup>/h)

**Auto - Betoneira**

Consumo combustível  (l/h)

Capacidade útil  (m<sup>3</sup>)

Velocidade média  (km/h)

Duração hora útil  (min)

Tempo de transporte  (min)

Tempo manobras  (min)

Tempo descarga  (min)

Tempo TOTAL  (min)

Rendimento  (m<sup>3</sup>/h)

**Bomba para betão**

Consumo combustível  (l/h)

Produção horária  (m<sup>3</sup>/h)

**Vibrador eléctrico**

Potência  (kWh)

nº horas de utilização para 1m<sup>3</sup> betão (5min)  (h)

**Grua**

Potência  (kWh)

Nº de horas de trabalho por dia  (h)

Nº de dias por piso  (dias)

Figura 19 – Folha de Cálculo – página de inserção dos dados.

Após o preenchimento dos campos anteriores é possível ao utilizador obter os resultados finais, através de quadros resumo e de modo gráfico. De seguida é apresentada a Folha de Cálculo “Tabelas Finais”, onde inicialmente são apresentados os resultados referentes a 1 m<sup>3</sup> de betão, e posteriormente são tratados os dados de forma a que seja feita uma leitura por emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso.

### TABELAS FINAIS

Cimento CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)				
Tipo	I	II	III	IV
Produção	222620,1	184606,7	67270,5	206415,0
Transporte	485,1			
Σ	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1

Agregados	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Britador	202,5
Transporte	1940,4
Σ	2142,9

Água	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Est. Elevatória	18,0
Σ	18,0

Areia	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Extracção	1868,3
Transporte	970,2
Σ	2838,5

Cofragem	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Corte	160,1
Serração	4,0
Transporte	462,0
Σ	626,2

Central de Betonagem	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Produção	372,9
Auto-bet.	12685,0
Σ	13057,9

Escavação	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Escavação	2780,2
Combustível	2887,5
Σ	5667,7

Em obra	
Actividade	CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)
Bomba	3481,3
Vibrador	12,1
Grua	1911,0
Σ	5404,4

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)]				
	I	II	III	IV
Cimentos	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1
Agregados	2142,9			
Água	18,0			
Areia	2838,5			
Cofragem	626,2			
C. Betonagem	13057,9			
Escavação	5667,7			
Em obra	5404,4			
Σ	252860,7	214847,4	97511,2	236655,7

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de piso [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> piso)]				
	I	II	III	IV
Cimentos	44621,0	37018,4	13551,1	41380,0
Agregados	428,6			
Água	3,6			
Areia	567,7			
Cofragem	125,2			
C. Betonagem	2611,6			
Escavação	1133,5			
Em obra	1080,9			
Σ	50572,1	42969,5	19502,2	47331,1

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>3</sup> de betão por processo principal [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>3</sup> betão)]				
Produção de cimento*	223105,2	185091,8	67755,6	206900,1
Transporte	27720,2			
Electricidade	2520,5			

\* tipos de cimento

Emissão de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de laje, por actividade principal [CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> laje)]				
Produção de cimento*	44621,0	37018,4	13551,1	41380,0
Transporte	5544,0			
Electricidade	504,1			

Figura 20 – Tabelas finais (programa de cálculo).



# Capítulo 6 - Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

## 6.1. Conclusões

As principais conclusões desta dissertação são:

-na parte do ciclo de vida analisado, onde se excluem as fases de manutenção e demolição do edifício, verifica-se que o efeito final de emissão de CO<sub>2</sub> é principalmente dependente da importância da escolha do tipo de cimento.

-confirmou-se que a produção de cimento é a principal fonte do impacto ambiental gerado pela utilização de betão. Contudo, nesta área têm-se vindo a observar progressos consideráveis, pois actualmente já nos distanciamos da grandeza indicada por inúmeras fontes bibliográficas, em que a produção de uma tonelada de cimento dá origem a uma tonelada de CO<sub>2</sub> emitido. Grande parte deste progresso deve-se à melhoria da performance de queima dos fornos de produção de clínquer e à substituição do uso de combustíveis tradicionais (fósseis) por combustíveis alternativos.

-este estudo permitiu chegar a valores de emissões na ordem dos 50 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de piso para o betão com uso de cimento mais prejudicial ao ambiente (CEM I), e a valores de 19,5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> para o betão com uso de cimentos com maior taxa de substituição do clínquer (CEM III). Os valores obtidos não são absolutos, isto é, referem-se apenas ao caso particular em estudo, e têm inerentes inúmeras aproximações e simplificações utilizadas para a obtenção dos dados finais.

-poderá ainda dizer-se que a ordem de grandeza dos valores obtidos relativamente às emissões de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de piso até à colocação do betão em obra poderá não ter uma representação muito significativa, quando, por exemplo, em comparação com o consumo de energia ao longo dos 50 anos de vida útil expectável para um edifício tipo.

-a utilização de cimentos com maior percentagem de incorporação de outros materiais (adições) dentro dos limites da norma NP EN 197, por forma reduzir a quantidade de clínquer, pode contribuir para uma maior sustentabilidade na construção, visto que é na fase de produção do clínquer que se verificam maiores impactos a nível de emissões de CO<sub>2</sub>; para o caso nacional, relativamente aos cimentos produzidos em maior quantidade na Fábrica SECIL - Outão, observa-se a produção de cimento do Tipo II AL 42,5 R e do Tipo II BL 42,5 R, onde a resistência é a mesma, a performance é também idêntica,

não se registando grandes diferenças para o consumidor, no entanto, no segundo caso verifica-se uma maior quantidade de incorporação de calcário e menor de clínquer, tendo portanto menos CO<sub>2</sub> associado.

-este estudo permite concluir que a produção do cimento, seguida das distâncias de transporte e utilização de equipamentos com consumo de combustível, são os principais contribuintes para as emissões de CO<sub>2</sub> em todo o processo de colocação do betão em obra.

-necessidade de desenvolvimento de produtos ditos “verdes”, e de torná-los competitivos, no mercado da construção, pelo que é necessário conseguir tornar acessível, de fácil compreensão e credível, este tipo de informação para o consumidor final e para os profissionais do sector da construção, de forma a torná-los mais conscientes das suas escolhas ambientais.

## **6.2. Desenvolvimentos Futuros**

Futuramente, considera-se útil o desenvolvimento de um estudo que avalie:

-o tema tratado, apenas com dados (inventários) referentes unicamente ao panorama nacional, e que possibilite a criação de bases de dados actualizadas sobre a indústria da construção portuguesa. Poderá também ser feito um estudo comparativo com outros países europeus, de forma a ter percepção que aspectos poderão ainda ser melhorados.

-todo o ciclo de vida, não só da estrutura, mas de um edifício por completo, a chamada avaliação “cradle to the grave”. Nesta análise poderão ser incluídos aspectos a ter em conta nas fases de projecto, de uso e manutenção de um edifício, a fase de demolição ou reabilitação, e a possibilidade de reciclagem dos materiais.

## Bibliografia

- [1]. Pinheiro, Manuel Duarte. *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora : Instituto do Ambiente, 2006.
- [2]. Mehta, P. Kumar. *Reducing the Environmental Impact of Concret*. Concrete International. Outubro de 2001, pp. pp. 61-66.
- [3]. IPCC. *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- [4]. *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2009*. Amadora : Agência Portuguesa do Ambiente, 2011.
- [5]. Geopolymer. [Online] [Citação: 17 de Agosto de 2011.] <http://www.geopolymer.com.br>.
- [6]. Observatório do Clima. [Online] [Citação: 22 de Agosto de 2011.] [www.oc.org.br](http://www.oc.org.br).
- [7]. EEA-JRC-WHO. *Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment*. Denmark : European Environment Agency, 2008.
- [8]. Sistema Electrónico de Negociação de Direitos de Emissão de Dióxido Carbono. [Online] [Citação: 19 de Agosto de 2011.] <http://www.sendeco2.com>.
- [9]. Torgal, F. Pacheco e Jalali, Said. *Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção*. Coimbra, 2007. Congresso Construção 2007 - 3.º Congresso Nacional.
- [10]. Ferreira, Rui Miguel. *Optimização da Vida Útil das Estruturas de Betão Armado* . Lisboa : Quartas Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, 2006. LNEC.
- [11]. Habert, G., Billard, C., Rossi, P., Chen, C., Roussel, N. *Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives*. Journal of Cement and Concrete Research. 2010, pp. V. 40, nº 5, pp. 820-826.
- [12]. Coutinho, Joana de Sousa. *Materiais de Construção 2, 1ª Parte - Ligantes e Caldas* . Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- [13]. Coutinho, A. de Sousa. *Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.

- [14]. Lundgren, Monica. *Development of Strength and Heat of Hydration of Young Concret at Low Temperature - Influence of Granulated Blast Furnace Slag, Silica Fume and Limestone Filler*. Sweden : Lund University, 2005.
- [15]. Sousa, Susana Patrícia Bastos de. *Betões Eco-eficientes com Cinza de Casca de Arroz*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [16]. Moraes, Regis da Costa. *Efeitos Físicos e Pozolânicos das Adições Mineraias sobre a Resistência Mecânica do Concreto*. Brasil : Universidade Federal Santa Maria , 2001.
- [17]. Azevedo, Aires F. F. L. Camões de. *Betões de Elevado Desempenho com Incorporação de Cinzas Volantes* : Universidade do Minho, 2002.
- [18]. Torgal, F. Pacheco e Jalali, Said. *Tendências para a Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Engenharia e Vida. Janeiro de 2008.
- [19]. Filho, Arnaldo Cardim de Carvalho. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento - Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Barcelona : Universidad Politécnica de Cataluña, 2001. Tese de Doutoramento.
- [20]. *CEMBUREAU Environmental Product Declaration for Cement - User's Guide*. 2008.
- [21]. Mateus, Ricardo e Bragança, Luís. *Life-Cycle Assessment of Residential Buildings*. International Conference Sustainability of Constructions - Towards a better built environment. pp. 255-262.
- [22]. *Gestão ambiental- Avaliação do ciclo de vida- Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. Norma equivalente à ISO 14040.
- [23]. Mata, Teresa M. e Costa, Carlos A. V. *Norma ISO 14040 - metodologia de análise de ciclo-de-vida*. Cadernos de Ambiente (AIP), pp. 42-44.
- [24]. International Organization Standardization. [Online] [Citação: 13 de Agosto de 2011.] [www.iso.org](http://www.iso.org).
- [25]. *Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida*. [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2011.] <http://www.ciclodevida.ufsc.br>.
- [26]. Josa, A., Aguado, A., Cardim, A., Byarns, E. *Comparative analysis of the life cycle impact assessment of available cement inventories in the EU*. Cement and Concrete Research. Fevereiro de 2007, pp. 781-788.
- [27]. Sjunnesson, Jeannette. *Life Cycle Assessment of Concrete*. Sweden : Lund University, 2005.
- [28]. Torgal, F. Pacheco e Jalali, Said. *Contributos do betão para a sustentabilidade da construção*. Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto. Outubro de 2008.
- [29]. Pires, Maria Filomena Barreto. *E332 - Fundamentos de Energia Eléctrica (Apontamentos de Aula)*. Lisboa : Academia Militar, 2009.

- [30]. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3) - Energy*. 1997.
- [31]. Burla, Everson Ramos. *Avaliação Técnica e Económica do "Harvester" na Colheita do Eucalipto*. Minas Gerais : Universidade Federal de Viçosa, 2008. Tese de Mestrado.
- [32]. Josa, Alejandro, et al. *Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU*. Cement and Concrete Research. Dezembro de 2003, pp. 1313-1320.
- [33]. CEMBUREAU. *Environmental Product Declaration for Cement (CEM I)*. 2008.
- [34]. *Central Termoeléctrica do Pego - Actualização da declaração ambiental de 2009*. Abrantes, 2010.
- [35]. Becchio, C., et al. Improving environmental sustainability of concrete products: investigation on MWC thermal and mechanical properties. *Journal of Energy and Buildings*, 2009, pp. V.41, nº11, pp. 1127-1134.
- [36]. Communication from the commission to the european parliament, the council and the european economic and social committee. *Smarter energy taxation for the EU: proposal for a revision of the Energy Taxation Directive*. Bruxelas, 2011.
- [37]. Huntzinger, Deborah N. e Eatmon, Thomas D. *A life cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies*. *Journal of Cleaner Production*. Julho de 2008, pp. 668-675.
- [38]. Sequeira, Daniel Filipe Pereira. *Aplicação para controlo de um software de LCA através da sua COM interface*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Dissertação de Mestrado.
- [39]. Werner Johnson, Timothy. *Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method*. United States of America : Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [40]. ERSAR. *Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal (2009). Volume 3 - Avaliação da qualidade do serviço prestado aos utilizadores* : Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2010. p. 66.
- [41]. Vermelhudo, Vitor. *Cimentos produzidos na SECIL*. [entrev.] Valter Henriques. 27 de Julho de 2011.
- [42]. Processo de fabrico do Cimento. SECIL. [Online] [Citação: 12 de Setembro de 2011.] <http://www.secil.pt>.



## **Anexos**

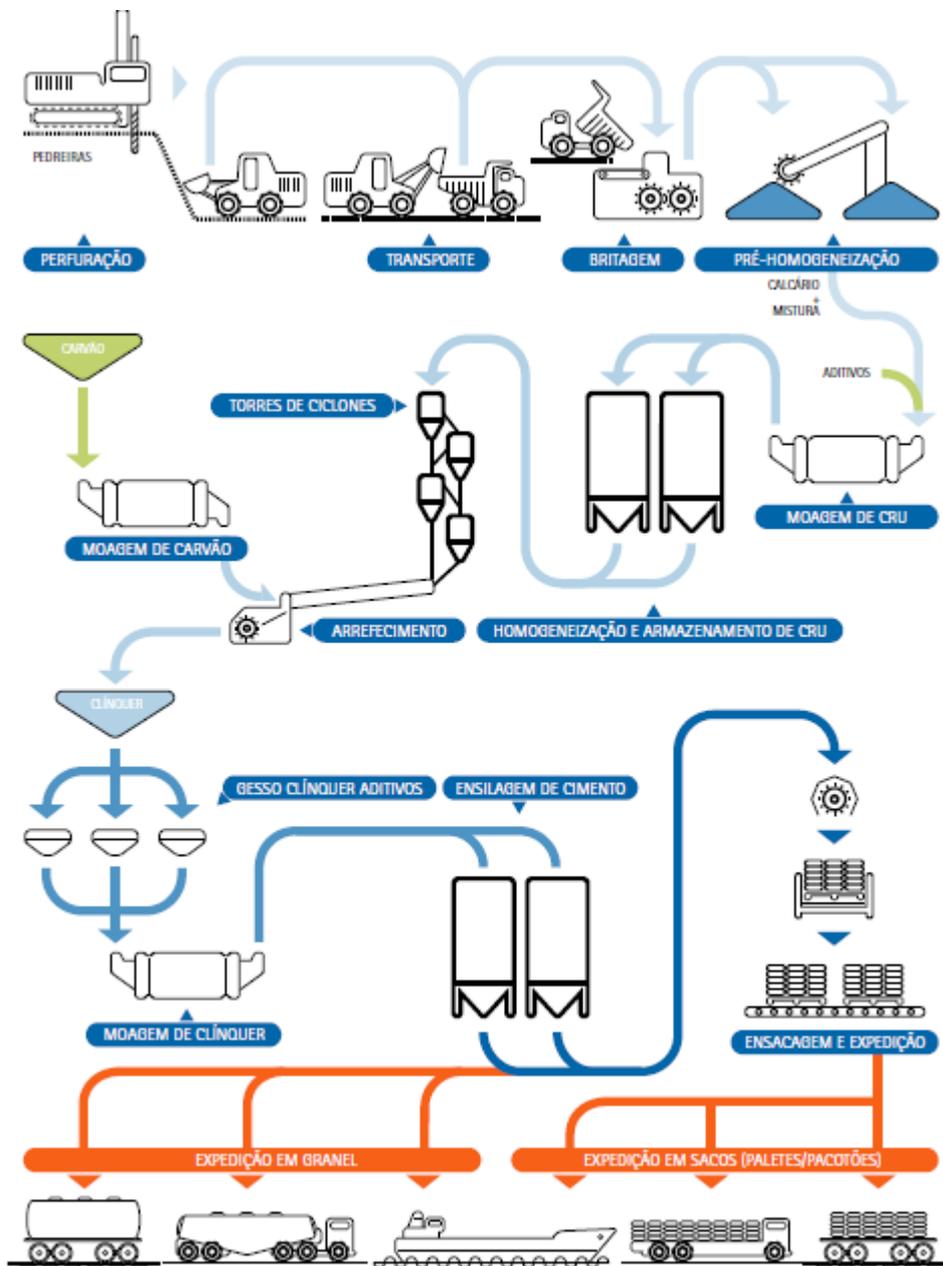


## ANEXO 1 - Constituintes Principais do Cimento, Segundo a Norma NP EN 197

Tipos principais	Notação dos 27 produtos (tipos de cimento corrente)		Composição (percentagem em massa)										Constituintes adicionais minoritários	
			Constituintes principais											
			Clínquer	Escória de alto forno	Sílica de fumo	Pozolana		Cinza volante		Xisto cozido	Calcário			
						P	Q	V	W		T	L		LL
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cimento Portland de escória	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de sílica de fumo	CEM II/AD	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		Cimento Portland de pozolana	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-
	CEM II/B-P		65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/A-Q		80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	CEM II/B-Q		65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de cinza volante	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de xisto cozido	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Cimento Portland de calcário	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cimento Portland Composto	CEM II/A-M	80-94	<-----6-20----->										0-5
CEM II/B-M		65-79	<-----21-35----->										0-5	
CEM III	Cimento de alto forno	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cimento pozolânico	CEM IV/A	65-89	-	<-----11-35----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<-----36-55----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Cimento composto	CEM V/A	40-64	18-30	-	<-----18-30----->			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	<-----31-50----->			-	-	-	-	0-5	



## ANEXO 2 - Diagrama do Fabrico do Cimento [42]





### ANEXO 3 - Consumo da Matéria-prima [19]

Nomenclatura original	Consumo de matérias-primas										
	Produção de clínquer							Produção de cimento			
	Água	Calcário	Marga	Argila	Cal	Óxidos de ferro	Outros	Clínquer	Escórias	Cinzas volantes	Gipsita
Cement Portland I	-	-	1.600	-	-	-	0.270	0.940	-	-	0.060
Cement Portland	-	-	1.610	0.057	0.047	0.019	-	0.950	0.109	0.09	0.050
Blastfurnace slag cement	-	-	0.510	-	-	-	0.066	0.300	0.640	-	0.060
Cement Hoogoven I	-	-	0.425	0.015	0.012	0.005	-	0.250	0.729	0.024	0.050
Cement Portland ash	-	-	1.190	0.042	0.035	0.014	-	0.700	0.081	0.317	0.050
Cement CH	-	1.150	0.346	-	-	-	-	-	-	-	0.030
Cement N	-	1.640	-	-	-	-	-	-	-	-	0.050
Portland cement NL1	1.410	1.600	-	-	-	-	-	-	-	-	0.060
Cement S	-	1.360	-	-	0.046	0.009	-	-	-	-	0.046
Cement SF1	-	1.200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cement SF2	-	1.550	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Portland cement A	0.190	1.200	-	-	-	-	0.017	-	0.122	0.027	0.064
Portland cement NL2	1.071	-	1.045	0.028	0.066	0.019	0.047	-	0.095	0.076	0.050
Portland cement NL3	1.325	-	1.316	0.056	0.047	0.014	-	-	0.108	0.089	0.060
Blastfurnace slag cement NL1	0.532	-	0.287	0.007	0.017	0.005	0.025	-	0.700	0.020	0.050
Blastfurnace slag cement NL2	0.423	-	0.420	0.018	0.015	0.004	-	-	0.675	0.285	0.060



## ANEXO 4 - EDP Serviço Universal

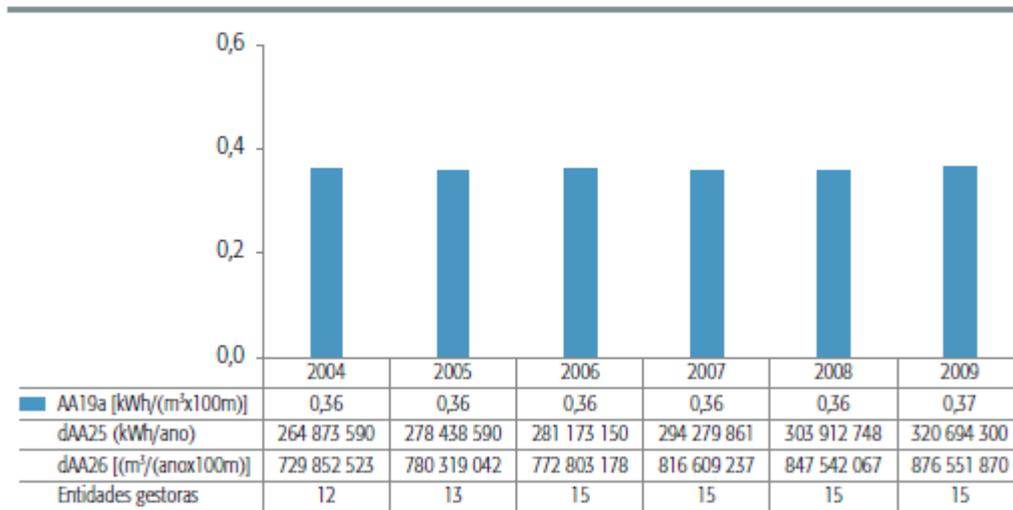
EDP Serviço Universal (2010)													
Mix Energético por Tecnologias (%)													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	2010
Hídrica	23,1	17,6	24,5	26,9	15,9	14,4	10,1	8,5	10,7	7,8	9,0	14,9	15,3
Carvão	5,1	5,1	1,9	3,4	4,1	9,1	8,6	14,9	20,7	12,7	8,6	11,0	8,8
Gás Natural	10,7	12,2	9,2	14,7	19,3	29,3	27,6	23,7	28,8	18,9	14,1	13,1	18,5
Fuelóleo	0,4	0,6	0,0	0,4	0,9	1,0	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6
Nuclear	3,7	3,6	4,6	3,5	3,4	5,4	3,8	4,2	5,3	3,8	3,6	3,0	4,0
Cogeração e Microprodução PRE*	13,2	13,2	14,2	14,1	15,1	14,1	16,0	16,9	14,1	15,6	16,1	13,6	14,7
Hídrica PRE*	7,6	6,8	8,3	7,2	4,5	1,9	1,1	0,6	0,5	1,8	5,2	6,2	4,3
Eólica PRE*	33,4	37,3	33,1	25,0	31,8	20,4	26,4	24,9	14,8	33,4	38,6	34,4	29,5
Outras PRE*	2,8	3,6	4,1	4,7	5,0	4,4	5,7	5,7	4,6	5,5	4,2	3,3	4,5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>											

\*PRE – Produção em Regime Especial



## ANEXO 5 - Eficiência Energética de Instalações Elevatórias [40]

Evolução do indicador AA19a – Eficiência energética de instalações elevatórias [kWh/(m<sup>3</sup> x 100 m)] (sector em alta)





## ANEXO 6 - Inventários da Produção de Cimento [19]

### 6.1 – Cement Portland I

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do SimaPro	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement Portland I		
<b>Fonte</b>	SimaPro 4.0 - Pré Consultants, 1997		

#### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,94 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	1,60E+00	86%	9. Clínquer	9,40E-01	100%
2. Adições	2,70E-01	14%	10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,40E-01	100%
7.			15. Gesso	6,00E-02	
8. Soma	1,87E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 50%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I-Portland Cement</b>					

#### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,94 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	1,96E-01	5%	22. Electricidade	1,22E-01	13%
19. Energia térmica	3,38E+00	95%	23. Energia térmica	8,46E-01	87%
20.			24.		
21. Soma	3,58E+00	100%	25. Soma	9,68E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 55%</b>					

#### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	2,65E-01	1	2,65E-01	2,65E-01	100%
CH <sub>4</sub>	3,49E-08	11	3,84E-07		0%
					100%
Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,97E-02	1	8,97E-02	8,97E-02	100%
CH <sub>4</sub>	2,18E-08	11	2,40E-07		0%
					100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer			2,65E-01	3,55E-01	75%
Subsistema: Produção de Cimento			8,97E-02		25%
					100%

## 6.2 – Cement CH

<b>Sistema</b>	Produção de cimento	
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento	
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b> Suíça
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement CH	
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau	

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,97 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Calcário	1,15E+00	77%	9. Clínquer*	9,70E-01	100%
2. Marga	3,46E-01	23%	10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,70E-01	100%
7.			15. Gesso	3,00E-02	
8. Soma	1,50E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 65%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I-Portland cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	-	-	22. Electricidade	5,57E-01	16%
19. Energia térmica	-	-	23. Energia térmica	2,98E+00	84%
20.			24.		
21. Soma	-	-	25. Soma	3,54E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 50%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,10E-01	1	8,10E-01		100%
				8,10E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			8,10E-01		100%
				8,10E-01	100%

### 6.3 – Cement N

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Suecia
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement N		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

#### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Calcário	1,64E+00	100%	9. Clínquer**	9,50E-01	100%
2.			10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,50E-01	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,64E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 58%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I- Portland Cement</b>					

#### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.	-	22. Electricidade	5,57E-01	13%
19. Energia térmica	s.d.	-	23. Energia térmica	3,85E+00	87%
20.			24.		
21. Soma	-	-	25. Soma	4,41E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 43%</b>					

#### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,13E-01	1	8,13E-01		100%
CH <sub>4</sub>	3,13E-04	11	3,44E-03		0%
N <sub>2</sub> O	2,21E-06	270	5,97E-04		0%
				8,17E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Cimento			8,17E-01		100%
				8,17E-01	100%

## 6.4 – Portland Cement NL1

<b>Sistema</b>	Produção de cimento	
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de cimento	
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b> Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland cement NL1	
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau	

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,94 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Calcário	1,60E+00	100%	9. Clínquer*	9,40E-01	100%
2.			10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,40E-01	100%
7.			15. Gesso	6,00E-02	
8. Soma	1,60E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 59%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I-Portland cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,94 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	1,96E-01	0%	22. Electricidade	1,22E-01	100%
19. Energia térmica	3,38E+00	0%	23.		
20.			24.		
21. Soma	3,58E+00	0%	25. Soma	1,22E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 47%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,53E-01	1	8,53E-01		100%
				8,53E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			8,53E-01		100%
				8,53E-01	100%

## 6.5 – Cement S

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Países Nórdicos
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement S		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Calcário	1,36E+00	96%	9. Clínquer*	9,54E-01	100%
2. Quartzito	4,61E-02	3%	10.		
3. Sulfato de ferro	9,20E-03	1%	11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,54E-01	100%
7.			15. Gesso	4,58E-02	
8. Soma	1,42E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 50%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I- Portland cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.	0%	22. Electricidade	4,70E-01	10%
19. Energia térmica	s.d.	0%	23. Energia térmica	4,07E+00	90%
20.			24.		
21. Soma	0,00E+00	0%	25. Soma	4,54E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 35%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,05E-01	1	8,05E-01	8,08E-01	100%
CH <sub>4</sub>	3,05E-04	11	3,36E-03		0%
N <sub>2</sub> O	1,46E-10	270	3,94E-08		0%
				8,08E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			8,08E-01		100%
				8,08E-01	100%

## 6.6 – Cement SF1

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Finlândia
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement SF1		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Cálcario	1,20E+00	100%	9. Clínquer**	9,50E-01	100%
2.			10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,50E-01	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,20E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 79%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I-Portland cement</b>			** valores estimados com base na ENV 197-1		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	4,50E-01	8%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	4,90E+00	92%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	5,35E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 24%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	7,80E-01	1	7,80E-01		99%
CH <sub>4</sub>	7,50E-04	11	8,25E-03		1%
N <sub>2</sub> O	2,10E-09	270	5,67E-07		0%
				7,88E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Cimento			7,88E-01		100%
				7,88E-01	100%

## 6.7 – Cement SF2

<b>Sistema</b>	Produção de cimento	
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento	
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b> Países Nórdicos
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement SF2	
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau	

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Calcário	1,55E+00	100%	9. Clínquer**	9,50E-01	100%
2.			10.		
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,50E-01	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,55E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg)- 61%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo I-Portland Cement</b>			** valores estimados com base na ENV 197-1		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	1,36E-01	3%	22. Electricidade	1,89E-01	87%
19. Energia térmica	3,77E+00	97%	23. Energia térmica	2,87E-02	13%
20.			24.		
21. Soma	3,91E+00	100%	25. Soma	2,18E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica - 41%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade de energia (MJ)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,09E-01	1	8,09E-01		1%
CH <sub>4</sub>	9,00E-04	11	9,90E-03		99%
N <sub>2</sub> O	3,00E-08	270	8,10E-06		0%
				8,19E-01	100%

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	3,70E-03	1	3,70E-03		1%
CH <sub>4</sub>	3,10E-06	11	3,41E-05		99%
N <sub>2</sub> O	3,00E-08	270	8,10E-06		0%
				3,73E-03	100%

Sistema: Produção de cimento			
Subsistemas	CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer	8,19E-01		100%
Subsistema: Produção de Cimento	3,73E-03		0%
		8,23E-01	100%

## 6.8 – Cement Portland

<b>Sistema</b>	Produção de cimento	
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento	
<b>Origem</b>	Inventários do "SimaPro 4.0"	<b>País:</b> Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement Portland	
<b>Fonte</b>	SimaPro 4.0 - Pré Consultants, 1997	

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	1,61E+00	93%	9. Clínquer	9,50E-01	83%
2. Minerais de argila	5,70E-02	3%	10. Escórias	1,09E-01	9%
3. Ardósia	4,75E-02	3%	11. Cinzas	9,00E-02	8%
4. Óxidos de ferro	1,90E-02	1%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	1,15E+00	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,73E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 55%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo II / A-S- Portland slag cement</b>					

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	1,34E-01	4%	22. Electricidade	1,46E-01	82%
19. Energia térmica	3,38E+00	96%	23. Energia térmica	3,19E-02	18%
20.			24.		
21. Soma	3,51E+00	100%	25. Soma	1,78E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -51%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade de energia (MJ)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,92E-01	1	8,92E-01	8,92E-01	100%
N <sub>2</sub> O	3,26E-06	270	8,80E-04		0%
					100%
Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	2,63E-02	1	2,63E-02	2,73E-02	96%
N <sub>2</sub> O	3,55E-06	270	9,59E-04		4%
					96%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer			8,92E-01	9,19E-01	97%
Subsistema: Produção de Cimento			2,73E-02		3%
					100%

## 6.9 –Portland cement A

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Áustria
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland Cement A		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,78 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Cálcrio	1,20E+00	99%	9. Clínquer**	7,87E-01	84%
2. Outros materiais	1,69E-02	1%	10. Escórias	1,22E-01	13%
3.			11. Cinzas	2,72E-02	3%
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,36E-01	100%
7.			15. Gesso	6,43E-02	
8. Soma	1,22E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -65%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo II/A-S-Portland slag cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de adições+ gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	3,82E-01	12%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	2,81E+00	88%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	3,19E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -43%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	5,86E-01	1	5,86E-01		100%
				5,86E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Cimento			5,86E-01		100%
				5,86E-01	100%

## 6.10 –Portland cement NL2

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland Cement NL2		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,72 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	1,09E+00	90%	9. Clínquer*	7,79E-01	82%
2. Minerais de argila	2,85E-02	2%	10. Escórias	9,50E-02	10%
3. Óxidos de ferro	1,90E-02	2%	11. Cinzas	7,60E-02	8%
4. Ardósia	6,65E-02	6%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,50E-01	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,20E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) - 65%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo II/A-S-Portland slag cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de adições+ gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	1,16E-01	4%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	2,64E+00	96%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	2,76E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -46%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,07E-01	1	8,07E-01		100%
				8,07E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			8,07E-01		100%
				8,07E-01	100%

## 6.11 –Portland cement NL3

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland Cement NL3		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,74 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	1,31E+00	92%	9. Clínquer*	7,43E-01	79%
2. Minerais de argila	5,64E-02	4%	10. Escórias	1,08E-01	11%
3. Óxidos de ferro	1,41E-02	1%	11. Cinzas	8,93E-02	9%
4. Ardósia	4,70E-02	3%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,40E-01	100%
7.			15. Gesso	5,99E-02	
8. Soma	1,43E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -52%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo II/B-S-Portland slag cement</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de adições+ gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	3,18E-01	9%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	3,38E+00	91%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	3,70E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -42%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	2,89E-01	1	2,89E-01		100%
				2,89E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			2,89E-01		100%
				2,89E-01	100%

## 6.12 –Cement Hoogoven I

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "SimaPro 4.0"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Cement Portland		
<b>Fonte</b>	SimaPro 4.0 - Pré Consultants, 1997		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,3 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	5,10E-01	89%	9. Clínquer	3,00E-01	32%
2. Adições	6,60E-02	11%	10. Escórias Hoogoven I	6,40E-01	68%
3.			11.		
4.			12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,40E-01	100%
7.			15. Gesso	6,00E-02	
8. Soma	5,76E-01	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -52%		
17. Classificação (ENV 197-1): Tipo III /B-Blastfurnace cement					

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,3 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	6,26E-02	5%	22. Electricidade	2,92E-01	21%
19. Energia térmica	1,08E+00	95%	23. Energia térmica	1,08E+00	79%
20.			24.		
21. Soma	1,14E+00	100%	25. Soma	1,37E+00	100%
26. Rendimento: material cru/ energia térmica -53%					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	8,47E-02	1	8,47E-02	8,47E-02	100%
CH <sub>4</sub>	1,11E-08	11	1,22E-07		0%
				8,47E-02	100%
Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	1,37E-01	1	1,37E-01	1,37E-01	100%
CH <sub>4</sub>	5,19E-08	11	5,71E-07		0%
				1,37E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer			8,47E-02	2,22E-01	38%
Subsistema: Produção de Cimento			1,37E-01		62%
				2,22E-01	100%

## 6.13 –Blast furnace slag cement

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "SimaPro 4.0"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Blast furnace slag cement production		
<b>Fonte</b>	SimaPro 4.0 - Pré Consultants, 1997		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	4,25E-01	93%	9. Clínquer	2,50E-01	25%
2. Minerais de argila	1,50E-02	3%	10. Escórias	7,29E-01	73%
3. Ardósia	1,25E-02	3%	11. Cinzas	2,40E-02	2%
4. Óxidos de ferro	5,00E-03	1%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	1,00E+00	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	4,58E-01	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg)		-55%
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo III /B-Blastfurnace cement</b>					

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	3,53E-02	4%	22. Electricidade	5,51E-01	82%
19. Energia térmica	8,81E-01	96%	23. Energia térmica	1,20E-01	18%
20.			24.		
21. Soma	9,16E-01	100%	25. Soma	6,71E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -52%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	2,35E-01	1	2,35E-01	2,35E-01	100%
N <sub>2</sub> O	8,57E-07	270	2,31E-04		0%
				2,35E-01	100%
Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	9,91E-02	1	9,91E-02	1,03E-01	96%
N <sub>2</sub> O	1,34E-05	270	3,62E-03		4%
				1,03E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer			2,35E-01	3,38E-01	70%
Subsistema: Produção de Cimento			1,03E-01		30%
				3,38E-01	100%

## 6.14 –Blast furnace slag cement NL1

<b>Sistema</b>	Produção de cimento	
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento	
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b> Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland Cement NL1	
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau	

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,74 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	2,87E-01	84%	9. Clínquer*	2,30E-01	24%
2. Minerais de argila	7,50E-03	2%	10. Escórias	7,00E-01	74%
3. Óxidos de ferro	4,99E-03	1%	11. Cinzas	2,00E-02	2%
4. Ardósia	1,75E-02	5%	12.		
5. Areia de escórias	2,50E-02	8%	13.		
6.			14. Soma	9,50E-01	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	3,42E-01	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -67%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo III/B - Blastfurnace slag</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de adições+ gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	2,87E-01	30%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	6,80E-01	70%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	9,67E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -50%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	2,12E-01	1	2,12E-01		100%
				2,12E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Cimento			2,12E-01		100%
				2,12E-01	100%

## 6.15 –Blast furnace slag cement NL2

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Sistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "Cembureau"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland Cement NL2		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível nos relatórios de Cembureau		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,74 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	4,20E-01	92%	9. Clínquer*	2,37E-01	24%
2. Minerais de argila	1,80E-02	4%	10. Escórias	6,75E-01	74%
3. Óxidos de ferro	4,50E-03	1%	11. Cinzas	2,85E-02	2%
4. Ardósia	1,50E-02	3%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	9,41E-01	100%
7.			15. Gesso	6,00E-02	
8. Soma	4,58E-01	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -52%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo III/B - Blast furnace slag</b>			* valor estimado subtraindo-se a quantidade de adições+ gesso		

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	s.d.		22. Electricidade	3,54E-01	25%
19. Energia térmica	s.d.		23. Energia térmica	1,08E+00	75%
20.			24.		
21. Soma			25. Soma	1,43E+00	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -42%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	1,34E-01	1	1,34E-01		100%
				1,34E-01	100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
<b>Subsistema: Produção de Cimento</b>			1,34E-01		100%
				1,34E-01	100%

## 6.16 –Cement Portland ash

<b>Sistema</b>	Produção de cimento		
<b>Composição</b>	Subsistema de produção de clínquer + subsistema de produção de cimento		
<b>Origem</b>	Inventários do "SimaPro"	<b>País:</b>	Holanda
<b>Nomenclatura Original</b>	Portland ash cement production		
<b>Fonte</b>	Inventário disponível em SimaPro 4.0		

### Entradas - Material

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (materiais) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)	Entrada (materiais) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de material (kg)	Contribuição (%)
1. Marga	1,19E+00	93%	9. Clínquer	7,00E-01	64%
2. Minerais de argila	4,20E-02	3%	10. Escórias	8,10E-02	7%
3. Ardósia	3,50E-02	3%	11. Cinzas	3,17E-01	29%
4. Óxidos de ferro	1,40E-02	1%	12.		
5.			13.		
6.			14. Soma	1,10E+00	100%
7.			15. Gesso	5,00E-02	
8. Soma	1,28E+00	100%	16. Rendimento-clínquer/matéria-prima (kg/kg) -55%		
<b>17. Classificação (ENV 197-1): Tipo III /B-Blastfurnace cement</b>					

### Entradas - Energia

Subsistema: Produção de Clínquer			Subsistema: Produção de Cimento		
Entrada (energia) (relativo à produção de 0,95 kg de clínquer)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)	Entrada (energia) (relativo à produção de 1kg de cimento)	Quantidade de energia (MJ)	Contribuição (%)
18. Electricidade	9,87E-02	4%	22. Electricidade	1,94E-01	82%
19. Energia térmica	2,49E+00	96%	23. Energia térmica	4,23E-02	18%
20.			24.		
21. Soma	2,59E+00	100%	25. Soma	2,36E-01	100%
<b>26. Rendimento: material cru/ energia térmica -51%</b>					

### Impacto de Efeito Global

Subsistema: Produção de Clínquer					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	6,58E-01	1	6,58E-01	6,59E-01	100%
N <sub>2</sub> O	2,04E-06	270	5,51E-04		0%
					100%
Subsistema: Produção de Cimento					
Substância emitida	Quantidade emitida (kg)	Factor de caracterização	CO2 equivalente parcial (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
CO <sub>2</sub>	3,49E-02	1	3,49E-02	3,62E-02	96%
N <sub>2</sub> O	4,71E-06	270	1,27E-03		4%
					100%
Sistema: Produção de cimento					
Subsistemas			CO2 equivalente (kg)	CO2 equivalente total (kg)	Contribuição (%)
Subsistema: Produção de Clínquer			6,59E-01	6,95E-01	95%
Subsistema: Produção de Cimento			3,62E-02		5%
					100%

## ANEXO 7 - Consumo de Combustível [30]

TABLE 1-39 ESTIMATED EMISSION FACTORS FOR EUROPEAN DIESEL HEAVY-DUTY VEHICLES						
	EMISSIONS					
	NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	NMVOG	CO	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>
<b>Moderate control: Assumed Fuel Economy 3.3 km/l (29.9 l/100 km)</b>						
Total g/km	10	0.06	1.9	9.0	0.03	770
g/kg fuel	42	0.2	8.0	36	0.1	3140
g/MJ	1.0	0.006	0.2	0.9	0.003	74



## ANEXO 8 - Cálculos Intermédios

### 8.1 - CIMENTO

Até à porta da fábrica

Transporte até à C. B.

Retorno da C. B.

	Tipo	Cimento	CO <sub>2</sub> eq (g/kgcimento)	CO <sub>2</sub> eq (g/m <sup>3</sup> betão)	Média	Máx/ Min
Portland	I	Cement Portland I	355	105435	222620	max: 253341  min: 105435
		Cement CH	810	240570		
		Cement N	817	242649		
		Portland cement NL1	853	253341		
		Cement S	808	239976		
		Cement SF1	788	234036		
		Cement SF2	823	244431		
		Cimento Portland 90 SECIL	743	220523		
Composto	II	Cement Portland	920	273240	184607	max: 273240  min: 85833
		Portland cement A	586	174042		
		Portland cement NL2	807	239679		
		Portland cement NL3	289	85833		
		Cimento Portland Calcário 77 SECIL	635	188669		
		Cimento Portland Calcário 70 SECIL	578	171518		
		Cimento Portland Calcário 65 SECIL	536	159266		
Alto forno	III	Cement Hoogoven I	222	65934	67271	max: 100386  min: 39798
		Blastfurnace slag cement	338	100386		
		Blastfurnace slag cement NL1	212	62964		
		Blastfurnace slag cement NL2	134	39798		
Pozolânico	IV	Cement Portland ash	695	206415	206415	206415

Veículo Pesado com			
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V cimento (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g/km (m <sup>3</sup> betão)
770	15	0,21	10,8

Dist. entre (km):		
Fábrica - Central	CO <sub>2</sub> g (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g (0,2 m <sup>2</sup> piso)
25	269,5	53,9

Veículo Pesado sem			
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V cimento (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g/km (m <sup>3</sup> betão)
616	15	0,21	8,6

Dist. entre (km):		
Central - Fábrica	CO <sub>2</sub> g (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g (0,2 m <sup>2</sup> piso)
25	215,6	43,1

## 8.2 - AGREGADOS

Britador = toda a preparação da brita

Transporte até à C. B.

Retorno da C. B.

Britador	RPM	Pot máx (kW)	Capacidade instantânea do britador		n <sup>o</sup> horas necessárias para 1m <sup>3</sup> de pedra (h)
			min. (t/hora)	max. (t/hora)	
Genérico	700-1200	200	115	440	0,004
			277,5		

EDP ( <i>Serviço Universal</i> ) CO2 (g/kWh)	Produção CO2 para o fabrico de 1m <sup>3</sup> Betão (g)	Produção CO2 para o fabrico de m <sup>2</sup> piso (g)
229,8	202,464	40,493

Veículo Pesado com carga			
Emissões CO2 (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V agregados (m <sup>3</sup> betão)	CO2 g/km (m <sup>3</sup> betão)
770	15	0,84	43,1

Dist. entre (km):	CO2 g (m <sup>3</sup> betão)	CO2 g (m <sup>2</sup> piso)
Pedreira - Central		
25	1078,0	215,6

Veículo Pesado sem carga			
Emissões CO2 (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V agregados (m <sup>3</sup> betão)	CO2 g/km (m <sup>3</sup> betão)
616	15	0,84	34,5

Dist. entre (km):	CO2 g (m <sup>3</sup> betão)	CO2 g (0,2 m <sup>3</sup> betão)
Central - Pedreira		
25	862,4	172,5

### 8.3 - ÁGUA

Estação Elevatória  $\equiv$  todos os processos envolvidos

Potência Bomba elevatória (kWh/(m <sup>3</sup> x100m))	Volume água por m <sup>3</sup> de betão (m <sup>3</sup> )	Energia gasta para elevar 100m a quantidade de água existente em 1m <sup>3</sup> de betão (kWh)
0,37	0,202	0,075

EDP ( <i>Serviço Universal</i> ) CO <sub>2</sub> (g/kWh)	Produção CO <sub>2</sub> para o fabrico de 1m <sup>3</sup> Betão (g)	Produção CO <sub>2</sub> para o fabrico de m <sup>2</sup> piso (g)
229,8	18,0	3,6

## 8.4 - AREIA

Extracção de areia

Transporte até à C. B.

Retorno da C. B.

Área implantação (m <sup>2</sup> )	Volume escavação necessário (m <sup>3</sup> )	Máquina escavadora					Consumo			
		Capacidade de extracção por ciclo (m <sup>3</sup> /5mins)	Total de horas de trabalho (h)	Consumo de combustível (l/h)	Litros de combustível consumido	Kilos de combustível consumido	gCO <sub>2</sub> /kgfuel	g CO <sub>2</sub> por Volume escavação total	g CO <sub>2</sub> por 1m <sup>3</sup> betão	g CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> piso
300	201,6	3	5,60	60	336	285,6	3140	896784	1868,3	373,7

Veículo Pesado com carga			
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V areia (por m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g/km (m <sup>3</sup> betão)
770	15	0,42	21,6

Dist. entre (km):		
Extracção - Central	CO <sub>2</sub> g (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g (m <sup>2</sup> piso)
25	539,0	107,8

Veículo Pesado sem carga			
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	V areia (por m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g/km (m <sup>3</sup> betão)
616	15	0,42	17,2

Dist. entre (km):		
Central - Extracção	CO <sub>2</sub> g (m <sup>3</sup> betão)	CO <sub>2</sub> g (m <sup>2</sup> piso)
25	431,2	86,2

## 8.5 - COFRAGEM

Corte	Serragem = todas as máquinas envolvidas	Transporte até à obra	Retorno da obra
-------	---	-----------------------	-----------------

Máquina de corte				
Consumo de combustível (l/h)	Produtividade (m3/h)	n <sup>o</sup> horas necessárias para 1m3 de madeira (h)	Litros de combustível consumido por m3 (l/m3)	Kilos de combustível consumido por m3 (kgfuel/m3)
12	20	0,05	0,6	0,51

Consumo				
gCO2/kgfuel	g CO2 por 1m3 madeira	g CO2 por m2 piso	m2 cofragem necessários para 1 m3 de betão	g CO2 por m3 betão
3140	1601,4	32,0	5,0	160,1

Máquina de serração		
Pot máx (kW)	Produtividade (m3/h)	n <sup>o</sup> horas necessárias para 1m3 de madeira
100	6	0,167

EDP ( <i>Serviço Universal</i> ) CO2 (g/kWh)	Produção CO2 para o fabrico de 1m3 madeira (g)	Produção CO2 para o fabrico de m2 de cofragem (g)	m2 cofragem necessários para 1 m3 de betão	g CO2 por m3 betão
229,8	40,2	0,8	5,0	4,0

Veículo Pesado com carga			
Emissões CO2 (g/km)	Carga transporte (m3)	V madeira (por m3 betão)	CO2 g/km (m3 betão)
770	15	0,1	5,1

Dist. entre (km):		
Corte - Obra	CO2 g (m3 betão)	CO2 g (m2 piso)
50	256,667	51,333

Veículo Pesado sem carga			
Emissões CO2 (g/km)	Carga transporte (m3)	V madeira (m3 betão)	CO2 g/km (m3 betão)
616	15	0,1	4,1

Dist. entre (km):		
Obra - Corte	CO2 g (m3 betão)	CO2 g (m2 piso)
50	205,3	41,1

## 8.6 - ESCAVAÇÃO

Escavação das fundações	Transporte para aterro	Retorno para obra
-------------------------	------------------------	-------------------

Área implantação (m <sup>2</sup> )	Profundidade escavação equivalente (m)	Volume escavação (m <sup>3</sup> )	Escavadora				Consumo					
			Capacidade de extracção por ciclo (m <sup>3</sup> /5mins)	Total de horas de trabalho (h)	Consumo de combustível (l/h)	Litros de combustível consumido (l)	Kilos de combustível consumido (kg)	gCO <sub>2</sub> /kgfuel	g CO <sub>2</sub> por Volume escavação total	g CO <sub>2</sub> por piso	g CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> piso	g CO <sub>2</sub> por 1m <sup>3</sup> betão
300	1	300	3	8,33	60	500	425	3140	1334500	166812,5	556,0	2780,2

Veículo Pesado com carga				Dist. Entre Obra - Aterro (km)	Total de km	Total de emissões (gCO <sub>2</sub> )	Total de emissões por piso (gCO <sub>2</sub> /piso)	Total de emissões por m <sup>2</sup> de piso (gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Total de emissões por m <sup>3</sup> de betão (gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	Volume escavação (m <sup>3</sup> )	Nº de viagens necessário						
770	15	300	20	50	1000	770000	96250,0	320,8	1604,2

Veículo Pesado sem carga				Dist. Entre Aterro - Obra (km)	Total de km	Total de emissões (gCO <sub>2</sub> )	Total de emissões por piso (gCO <sub>2</sub> /piso)	Total de emissões por m <sup>2</sup> de piso (gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Total de emissões por m <sup>3</sup> de betão (gCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
Emissões CO <sub>2</sub> (g/km)	Carga transporte (m <sup>3</sup> )	Volume escavação (m <sup>3</sup> )	Nº de viagens necessário						
616	15	300	20	50	1000	616000	77000	256,7	1283,3

## 8.7 - CENTRAL DE BETONAGEM

Central de Betonagem (C. B.)

Auto-betoneira

Central		
Pot máx (kW)	Produção horária (m3/hora)	nº horas para 1m3 betão
85	55	0,0182

EDP ( <i>Serviço Universal</i> ) CO2 (g/kWh)	Produção CO2 para o fabrico de 1m3 Betão (g)	Produção CO2 para o fabrico de m2 piso (g)
229,8	372,9	74,6

Modelo	Consumo de combustível (l/h)	Capacidade útil (m3)	Produção		
			(m3/hora)	nº horas para 1m3 betão	Litros de combustível consumido para 1m3 de betão
Auto betoneira 9m3	30	8	6,31	0,158	4,75

Consumo		
gCO2/kgfuel	gCO2 por m3 de betão	g CO2 por m2 piso
3140	12685,0	2537,0

## 8.8 - EM OBRA

Grua	
Bomba	Vibrador

Bomba para betão					
Dist. min. Bombeio Vertical (m)	Consumo de combustível (l/h)	Produção horária (m3/hora)	nº horas para 1m3 betão	Litros de combustível consumido para 1m3 de betão	Kilos de combustível consumido por m3 de betão
> 30	30	23	0,043	1,304	1,109

gCO2/kgfuel	gCO2 por m3 de betão	g CO2 por m2 piso
3140	3481,3	696,3

Vibrador de betão eléctrico				
Vibrações por minuto	Diâmetro do tubo (mm)	Pot máx (kW)	Rotações por minuto	nº horas para 1m³ betão
15600	25	0,6	4000	0,083

EDP (Serviço Universal) CO2 (g/kWh)	Produção CO2 para o fabrico de 1m3 Betão (g)	Produção CO2 para o fabrico de m2 piso (g)
229,8	12,1	2,4

Grua						
Potência eléctrica (kW)	Nº de horas de trabalho por dia	Nº de dias por piso	Nº de pisos	Nº de horas total	Área total do edifício (m2)	Nº de horas de trabalho por m2
10,56	3	15	7	315	2100	0,15

EDP (Serviço Universal) CO2 (g/kWh)	Produção CO2 para o fabrico de m2 piso	Produção CO2 para o fabrico de 1m3 Betão
229,8	382,2	1911,0