



Dissertação

Mestrado em Engenharia Eléctrotécnica – Sistemas de Automação

***Caracterização do esforço de racionalização de  
consumo de energia numa empresa cimenteira***

**Eduardo José da Silva Gonçalves**

Leiria, Novembro de 2013



Dissertação

Mestrado em Engenharia Eléctrotécnica – Sistemas de Automação

***Caracterização do esforço de racionalização de  
consumo de energia numa empresa cimenteira***

**Eduardo José da Silva Gonçalves**

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Luis Miguel Pires Neves,  
Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Novembro de 2013

***Aos meus pais e irmão***



## ***Agradecimentos***

---

Em primeiro lugar as minhas palavras terão de ir para a minha família, pai, mãe e irmão, pelo carinho, paciência e apoio que me transmitiram ao longo de todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos que fizeram parte dos momentos mais complicados, sempre me ajudando e incentivando.

Aos meus colegas de trabalho e quadros da CMP- Cimentos Maceira a Pataias, fábrica de Maceira –Liz, que me ajudaram e disponibilizaram a informação fundamental á realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luis Miguel Pires Neves, orientador da dissertação, agradeço o apoio, a disponibilidade e a partilha de conhecimentos. Obrigado por me continuar a acompanhar nesta jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida académica.

A todos, que de forma directa ou indirecta, contribuíram para a concretização desta dissertação, o meu profundo e sentido agradecimento.



## ***Resumo***

---

O setor cimenteiro é associado a importantes impactos ambientais, sendo grande consumidor de matérias-primas e energia. Numa fase de verdadeira competitividade pelos mercados internos e externos, a exigência das empresas em serem energeticamente eficientes é cada vez maior.

No presente documento procura-se caracterizar as medidas de racionalização de energia promovidas numa fábrica de cimento em particular, e avaliar os seus resultados. Com esse objetivo, foi dada especial atenção ao Plano de Racionalização de Consumos Energéticos (PRCE) elaborado no ano de 2006 após uma auditoria, e que foi implementado de 2006 a 2010, na fábrica de cimento de Maceira-Liz.

Foi efetuada uma análise à evolução dos consumos energéticos térmicos e elétricos, mas também às medidas que levaram a empresa a aumentar as suas performances de eficiência energética, respeitando as cada vez mais rigorosas limitações em termos de emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. É neste âmbito que o aumento do consumo de combustíveis alternativos tem cada vez maior evidência, em detrimento dos combustíveis de origem fóssil.

Elaborado o estudo da evolução energética da empresa e das medidas implementadas foi efetuada a análise comparativa com os principais produtores mundiais, e apresentadas as oportunidades de melhoria e racionalização de energia a implementar futuramente. Concluiu-se que a empresa estando no bom caminho, ainda tem muita margem de evolução, podendo melhorar significativamente os seus índices energéticos.

*Palavras-chave:* racionalização, eficiência energética, cimento, clínquer, combustíveis alternativos



## ***Abstract***

---

The cement sector is associated with significant environmental impacts, being a major consumer of raw materials and energy. In a moment of true competitiveness in domestic and foreign markets, the demand for energy efficient companies is increasing.

This thesis seeks to characterize the energy conservation measures promoted in a particular cement factory, and evaluate their results. With this objective, special attention was given to the Energy Consumption Rationalization Plan prepared in 2006 after an audit, and implemented from 2006 to 2010 in the cement plant of Maceira-Liz.

An analysis was made to the evolution of thermal and electrical energy consumption, but also to the action which led the company to increase its energy efficiency performance, respecting the increasingly stringent limitations on carbon dioxide emissions into the atmosphere. It is in this context that the increased use of alternative fuels achieved increasing evidence, replacing fossil fuels.

After the study of the energy developments of the company and of the implemented measures a comparative analysis with the main world producers was performed, and future opportunities for improvement and rationalization of energy were presented. It was concluded that, although the company is on the right path, there is still enough margin for evolution, which can significantly improve the energy indices.

Key-Words: Rationalisation, energy efficiency, cement, clinker, alternative fuels



## ***Índice de Figuras***

---

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Processo produtivo na indústria cimenteira .....  | 8  |
| Figura 3.1 – Imagem aérea da Fábrica de Maceira-Liz.....   | 17 |
| Figura 3.2 – Alimentação das matérias-primas secundárias e combustíveis alternativos no processo (Secil, 2011) ..... | 18 |
| Figura 3.3 – Variador de velocidade e motor do ventilador do filtro de mangas do forno e cru .....                   | 35 |
| Figura 3.4 – Variador de velocidade e motor do ventilador do filtro de mangas da moagem de cimento 7 .....           | 37 |
| Figura 3.5 – Variador de velocidade e motor do ventilador de transporte de ar quente da moagem de carvão 2.....      | 38 |
| Figura 3.6 – Filtro de mangas .....  | 40 |
| Figura 3.7 – Programadores dos Filtros de mangas com medição de $\Delta p$ .....                                     | 40 |
| Figura 3.8 – Equipamento de Medição, Comunicação e Controlo (EMCC) .....   | 45 |
| Figura 4.1 – Níveis de planeamento estratégico no sector de gestão de resíduos (PNGR, 2011).....                     | 60 |
| Figura 4.2 – Reacção Exotérmica .....  | 63 |
| Figura 4.3 – Triângulo de Balanço.....   | 64 |
| Figura 4.4 – O Sistema Industrial e a produção de resíduos (USEPA, 2006) .....                                       | 68 |
| Figura 4.5 – Gestão da Hierarquia dos Resíduos (GTZ/Holcin, 2006) .....  | 70 |
| Figura 4.6 – Emissões de gases de efeito estufa da incineração e co-processamento (CEMBUREAU, 2009).....             | 71 |
| Figura 4.7 – Emissões de gases de efeito estufa dos aterros de resíduos e co-processamento (CEMBUREAU, 2009) .....   | 72 |
| Figura 4.8 – Resíduos valorizados na Fábrica de Maceira-Liz .....  | 79 |



## ***Índice de Quadros***

---

|  |    |
|--|----|
| Quadro 3.1 – Consumos por Forma de Energia (2005) .....  | 25 |
| Quadro 3.2 – Distribuição de Consumos Energéticos em GJ (2005) .....   | 26 |
| Quadro 3.3 – Desagregação do consumo de energia por produto (2005) .....   | 28 |
| Quadro 3.4 – Meta prevista de redução de consumo energético (2005-2010) .....                                      | 29 |
| Quadro 3.5 – Objetivos para redução de consumo energético (2005-2010) .....  | 29 |
| Quadro 3.6 – Os 27 produtos da família dos cimentos correntes (NP EN 197-1) .....                                  | 33 |
| Quadro 3.7 – Regime de funcionamento do registo de ar do ventilador .....  | 36 |
| Quadro 3.8 – Tipos de redução de potência .....  | 44 |
| Quadro 3.9 – Evolução do consumo específico de energia (CEE) por tonelada de Clínquer, no período 2005-2010 .....  | 51 |
| Quadro 3.10 – Evolução do consumo específico de energia (CEE) por tonelada de Cimento, no período 2005-2010 .....  | 51 |
| Quadro 3.11 – Metas previstas de redução do consumo energético .....   | 52 |
| Quadro 3.12 – Evolução do consumo total de energia por tonelada de Cimento Equivalente, no período 2005-2011 ..... | 53 |
| Quadro 3.13 – Evolução das emissões de CO2 por tonelada equivalente de petróleo, no período 2005-2011 .....        | 53 |
| Quadro 3.14 – Produção de Clínquer e Cimento 2005-2011 .....   | 54 |
| Quadro 3.15 – Consumo de Energia Térmica (MJ/ton clínquer) 2005-2011 .....   | 54 |
| Quadro 3.16 – Consumo de Energia Térmica (MJ/ton cimento) 2005-2011 .....  | 55 |
| Quadro 3.17 – Consumo de Energia Elétrica (kWh/ton produto) 2005-2011 .....  | 55 |
| Quadro 4.1 – Evolução do enfoque das políticas europeias de gestão de resíduos (PNGR, 2011) .....                  | 59 |
| Quadro 4.2 – Plano de gestão de resíduos (REA, 2007) .....   | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Quadro 4.3 – Principais documentos legislativos nacionais e comunitários relacionados com a gestão de resíduos (PNGR, 2011) ..... | 61 |
|---|----|

## ***Índice de Gráficos***

---

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 2.1 – Produção de cimento no mundo (milhões de toneladas) .....  | 14 |
| Gráfico 2.2 – Produção de cimento no mundo em percentagens .....   | 14 |
| Gráfico 3.1 – Consumo de MPN por tonelada de cimento equivalente (Secil, 2012).....  | 19 |
| Gráfico 3.2 – Evolução da produção de clínquer e cimento 2006-2012 (Fábrica Maceira-Liz).....  | 20 |
| Gráfico 3.3 – Evolução dos consumos 2000-2004 (Fábrica Maceira-Liz) .....  | 21 |
| Gráfico 3.4 – Evolução do consumo térmico por tonelada de clínquer com taxa de substituição de combustíveis alternativos (CA) - Fábrica Maceira-Liz (Secil, 2012)..... | 22 |
| Gráfico 3.5 – Consumo de energia elétrica por tonelada de cimento - Fábrica Maceira-Liz (Secil, 2012) .....  | 23 |
| Gráfico 3.6 – Distribuição dos Consumos por Forma de Energia (2005) .....  | 25 |
| Gráfico 3.7 – Consumo de Energia por Sector (2005) .....   | 27 |
| Gráfico 3.8 – Distribuição do Consumo de Energia Elétrica por Sector (2005).....   | 27 |
| Gráfico 3.9 – Relação entre as emissões de CO2 por tonelada de produto cimentício e a taxa de incorporação de clínquer (Secil, 2012) .....                             | 34 |
| Gráfico 3.10 – Potência elétrica consumida pelo motor do ventilador do filtro de mangas das moagem de cimento 7.....   | 36 |
| Gráfico 3.11 – Potência elétrica consumida após instalação de VEV .....  | 37 |
| Gráfico 3.12 – Representação da iluminação total instalada.....  | 42 |
| Gráfico 3.13 – Representação do consumo da iluminação .....  | 43 |
| Gráfico 3.14 - Consumo de energia em GJ (à esquerda) e de energia primária em tep (à direita) no ano de 2005.....  | 50 |
| Gráfico 3.15 - Consumo de energia em GJ (à esquerda) e de energia primária em tep (à direita) no ano de 2010.....  | 50 |

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 3.16 - Evolução do consumo específico de energia do clínquer (à esquerda) e do cimento (à direita) no período 2005-2010 em comparação com o valor K..... | 52 |
| Gráfico 4.1 – Emissões na Fabrica de Maceira-Liz (Secil, 2012).....  | 75 |
| Gráfico 4.2 – Consumo de combustíveis alternativos no mundo (CSI, 2009).....   | 76 |
| Gráfico 4.3 – Consumo de combustíveis alternativos na EU 27 (CSI, 2009).....   | 77 |
| Gráfico 4.4 – Evolução do consumo de combustíveis alternativos Fábrica Maceira-Liz.....  | 78 |
| Gráfico 5.1 – Consumos específicos de energia térmica em 2010 .....  | 81 |
| Gráfico 5.2 – Consumos específicos de energia elétrica em 2010.....  | 82 |
| Gráfico 5.3 – Comparativo do consumo de combustíveis alternativos .....  | 82 |
| Gráfico 5.4 – Comparativo da taxa de incorporação de clínquer no cimento .....   | 83 |

## ***Lista de Siglas***

---

|           |  |
|-----------|--|
| ANR       | Autoridade Nacional de Resíduos  |
| APA       | Agência Portuguesa do Ambiente   |
| CA        | Combustíveis Alternativos  |
| CDR       | Combustíveis derivados de resíduos   |
| CEE       | Consumo específico de energia  |
| CEMBUREAU | European Cement Association  |
| CimEq     | Cimento equivalente  |
| CMP       | Cimentos Maceira e Pataias   |
| CSI       | Cement Sustainability Initiative   |
| EDP       | Energias de Portugal   |
| EMCC      | Equipamento de Medição, Comunicação e Controlo   |
| ETARI     | Estação de tratamento de águas residuais industriais   |
| G20       | Grupo formado pelos ministros de finanças e chefes dos bancos centrais das 19 maiores economias do mundo mais a União Europeia |
| GNR       | Projeto “Getting the Numbers Right”  |
| GPL       | Gás de Petróleo Liquefeito   |
| K         | Valor de consumo específico de referência  |
| MPN       | Matérias-primas naturais   |
| MPS       | Matérias-primas secundárias  |
| MT        | Média tensão   |
| PAA       | Programa de Acção em matéria de Ambiente   |
| PERH      | Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares   |
| PERSU     | Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos  |

|            |   |
|------------|---|
| PESGRI     | Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais              |
| PNGR       | Plano Nacional de Gestão de Resíduos                              |
| PRCE       | Plano de Racionalização de Consumos Energéticos                   |
| REN        | Rede Eléctrica Nacional   |
| RGCE       | Regulamento de Gestão do Consumo de Energia                       |
| SCECI      | Sistema de Comunicação, Execução e Controlo da Interruptibilidade |
| TNO        | Netherlands Organization for Applied Science Research             |
| UE         | União Europeia  |
| VER        | Valorização Energética de Resíduos                                |
| VEV        | Variador Electrónico de Velocidade                                |
| VLE        | Valores Limite de Emissão   |
| WBCSD      | World Business Council for Sustainable Development                |
| $\Delta p$ | Pressão diferencial   |

# Conteúdo

---

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>1.</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2.</b>   | <b>CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CIMENTO.....</b>                | <b>5</b>  |
| <b>2.1</b>  | <b>HISTÓRIA DO CIMENTO .....</b>                                 | <b>5</b>  |
| <b>2.2</b>  | <b>O PROCESSO PRODUTIVO .....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>2.3</b>  | <b>TECNOLOGIA DO PROCESSO – FLUXO PRODUTIVO .....</b>            | <b>7</b>  |
| 2.3.1       | EXTRACÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS .....                               | 9         |
| 2.3.2       | PREPARAÇÃO E ARMAZENAGEM DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....                | 9         |
| 2.3.3       | MOAGEM DE CRU .....  | 10        |
| 2.3.4       | HOMOGENEIZAÇÃO A ARMAZENAGEM DE CRU .....                        | 11        |
| 2.3.5       | COZEDURA .....   | 11        |
| 2.3.6       | PRODUÇÃO DE CIMENTO – MOAGEM E ARMAZENAMENTO.....                | 12        |
| 2.3.7       | EMBALAGEM E EXPEDIÇÃO .....                                      | 12        |
| <b>2.4</b>  | <b>A INDÚSTRIA CIMENTEIRA .....</b>                              | <b>13</b> |
| <b>3.</b>   | <b>CASO EM ESTUDO.....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>A EMPRESA.....</b>  | <b>15</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>AS MATÉRIAS-PRIMAS .....</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>PRODUÇÃO DE CIMENTO E DE CLÍNQUER.....</b>                    | <b>20</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>CONSUMO DE ENERGIA .....</b>                                  | <b>20</b> |
| 3.4.1       | ENERGIA TÉRMICA.....   | 21        |
| 3.4.2       | ENERGIA ELÉTRICA.....  | 22        |
| <b>3.5</b>  | <b>MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA.....</b>                 | <b>23</b> |
| 3.5.1.      | MEDIDAS DE URE PROPOSTAS.....                                    | 30        |
| 3.5.2.      | MEDIDAS DE MELHORIAS EFETUADAS .....                             | 32        |
| 3.5.3.      | RESULTADOS ESPECÍFICOS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA.....     | 48        |
| <b>4.</b>   | <b>PROCESSO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS .....</b>   | <b>57</b> |
| <b>4.1.</b> | <b>ENQUADRAMENTO LEGAL.....</b>                                  | <b>58</b> |
| <b>4.2.</b> | <b>COMBUSTÍVEIS.....</b>   | <b>63</b> |
| <b>4.3.</b> | <b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS COMBUSTÍVEIS .....</b> | <b>66</b> |
| <b>4.4.</b> | <b>VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA .....</b>                              | <b>67</b> |
| <b>4.5.</b> | <b>CO-PROCESSAMENTO NA INDÚSTRIA CIMENTEIRA.....</b>             | <b>73</b> |
| <b>4.6.</b> | <b>CONSUMOS E OBJETIVOS FUTUROS .....</b>                        | <b>76</b> |
| <b>5.</b>   | <b>ANÁLISE COMPARATIVA E PERSPECTIVAS DE EVOLUÇÃO .....</b>      | <b>81</b> |
| <b>6.</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>   | <b>89</b> |

**BIBLIOGRAFIA ..... 93**





# **1. Introdução**

---

Depois da água, o cimento é o segundo material mais utilizado, podendo ser encontrado em quase todo o tipo de obras (SNIC, 2013). Apesar da sua importância, o mercado do cimento em Portugal está em decrescendo, atingindo em 2012 valores de produção idênticos a 1973, fixando-se em 3.329 milhares de toneladas, menos 26,9% em relação ao ano anterior (FEPICOP, 2012). Também na Europa o consumo de cimento tem vindo a recuar desde 2007, em que atingiu 266 milhões de toneladas, para 191 milhões de toneladas em 2011 (CSI, 2012). A exportação passa a ser um fator fundamental para a sobrevivência de muitas empresas cimenteiras, mercado esse onde é necessário estar em pé de igualdade com os concorrentes diretos.

Também o intuito de assegurar um futuro mais sustentável proporciona novas oportunidades e coloca novos desafios à indústria cimenteira. O desenvolvimento sustentável é gerado não só por pressões externas, mas também por razões económicas que levam a que as empresas aproveitem as evoluções do mercado para se tornarem mais competitivas.

Um dos principais desafios da indústria cimenteira é a redução do consumo energético, tal como a procura de novas alternativas que permitam reduzir as emissões específicas de CO<sub>2</sub>, nunca colocando em causa a qualidade do produto final, o cimento. Devido às altas temperaturas necessárias à reação de clínquerização (1450°C) dentro dos fornos a indústria cimenteira é uma grande consumidora de energia térmica. As moagens de cimento e de cru (farinha) são os maiores consumidores de energia elétrica, podendo representar cerca de 60% do consumo total desta forma de energia, ficando do restante uma parte significativa entregue aos sistemas de ventilação existentes no processo.

Neste trabalho vai abordar-se a temática da racionalização de energia no contexto da indústria cimenteira, procurando analisar as medidas tomadas por uma empresa cimenteira em

particular. A eficiência energética é um fator determinante para a sobrevivência de uma empresa, e nesse âmbito, procura-se perceber a sua evolução.

Em termos estruturais, a presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos, sendo o primeiro apenas para um caráter introdutório, com a apresentação do trabalho e síntese do seu conteúdo. O segundo capítulo concentra a caracterização da produção de cimento, identificando as várias etapas do seu processo produtivo, com a finalidade de posteriormente poder ser efetuada a análise do tipo e quantidade de energia consumida em cada uma delas. Outro tema abordado é a evolução da produção de cimento no panorama europeu e mundial, com a consequente identificação dos maiores produtores.

Em Portugal existem 6 empresas produtoras de cimento de dois grupos cimenteiros distintos, a Secil e a Cimpor, tendo sido escolhida como base de estudo desta dissertação a fábrica de Maceira-Liz. No capítulo 3 é relatada a sua história sendo brevemente descrita a evolução tecnológica ao longo dos seus 90 anos numa primeira fase. A identificação do seu fluxo produtivo com todas as matérias-primas, primárias ou secundárias, inseridas é relevante para se perceber as alternativas às matérias-primas naturais, casos da pedra calcária e da pedra marga. É de importante relevo neste capítulo o estudo e análise da evolução da produção de clínquer e cimento da empresa, tal como a análise do consumo das energias primária, térmica e elétrica. A desagregação dos consumos por setores e pela forma de energia é fundamental para a percepção da presença de eventuais medidas de racionalização de energia e os seus resultados.

No início da década de 90, os combustíveis disponíveis e de maior rendimento eram os combustíveis fósseis, designadamente o carvão, o fuel e o coque de petróleo, a cuja queima estão associados elevadas emissões de CO<sub>2</sub>. Contudo, uma das medidas mais importantes de racionalização de energia passa precisamente pela substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis alternativos, sendo o capítulo 4 desta dissertação dedicado a este tema, dada a sua complexidade. Ao substituir combustíveis primários e matérias-primas por materiais derivados de resíduos adequados aos seus processos industriais, a indústria do cimento está a responder ao desafio de dissociar-se do crescimento da utilização dos recursos naturais e do seu impacto ambiental, que é a peça central das políticas focadas na eficiência dos recursos.

No capítulo 5, com a finalidade de perceber o enquadramento da empresa em estudo com as congéneres europeias e mundiais, procura-se elaborar o estudo comparativo de valores como, os consumos específicos de energia térmica e energia elétrica, a quantidade de combustíveis

consumidos, e a taxa de incorporação de clínquer no cimento. Esta análise permite enquadrar a realidade da empresa e perceber se está no caminho certo, e se as medidas tomadas terão sido suficientes para se debater com os concorrentes pelos mercados. A parte final do capítulo identifica as oportunidades de melhoria, janelas de oportunidade e intenções futuras da empresa que poderão suscitar o aumento da eficiência energética nos anos vindouros, não descurando a necessária avaliação da viabilidade económica e das vantagens quer ao nível económico quer ao nível técnico de cada uma delas, tendo em conta o que já existe implementado com sucesso em empresas do mesmo ramo.

O capítulo 6 é dedicado às conclusões finais da dissertação, analisando a dimensão das medidas de racionalização de energia e os seus resultados, comparativamente com o setor cimenteiro mundial. A margem de progressão da empresa ao nível energético será determinante para perceber qual o seu futuro no actual contexto da disputa pelos mercados, principalmente de exportação.



## ***2. Caracterização da produção de cimento***

---

### **2.1 História do cimento**

Definir com precisão a data em que os mestres contrutores começaram a utilizar ligantes na construção não será fácil de determinar, mas foram encontrados vestígios de argamassa de cal em estruturas com mais de 14.000 anos de idade, na Turquia.

Desde que as civilizações começaram a fazer as primeiras tentativas no domínio da construção que se começou a procurar um material que unisse as pedras numa massa sólida e coesa.

Os Assírios e Babilónios usaram primeiro a argila como material ligante, enquanto que os Egípcios descobriram a cal e o gesso, o que tornou possível erguer as pirâmides dada a sua gigantesca estrutura.

Seguiram-se algumas melhorias introduzidas pelos Gregos e finalmente os Romanos desenvolveram um cimento altamente durável. Eles foram os primeiros a usar betão, construindo com ele fundações, componentes de construção, aquedutos e muralhas. O “opus caementitium”, a partir do qual a nossa palavra atual "cimento" é derivado, era de tão alta qualidade que as estruturas construídas com ele ainda existem hoje. Grande parte do Coliseu em Roma é feito de betão romano. Outros exemplos famosos da arquitetura de betão romano, que foi iniciada em 27 A.C. é o Panteão de Roma e a enorme Basilica de Constantino. Por volta do primeiro século, os Romanos aperfeiçoaram esta "pasta". Na adição de solo vulcânico da região de Pozzuoli (cinza vulcânica), perto de Nápoles e do Monte Vesúvio, eles descobriram que oferecia maior resistência à acção da água, doce ou salgada (A. J. Francis, 1977).

Foi com o engenheiro britânico John Smeaton e a necessidade de construir uma estrutura sólida para o Farol Eddystone na costa da Cornualha, em Inglaterra, que se levaram a cabo numerosas experiências com argamassas em água doce e salgada, tendo-se descoberto um cimento à base de pedra de calcário, que, com uma determinada proporção de argila, endurecia debaixo de água. Este cimento foi incorporado em 1759 na referida obra, e passados 126 anos não se tornou necessária qualquer reparação na sua estrutura (Francis, 1977).

Antes da descoberta do Cimento Portland, utilizavam-se grandes quantidades de cimento natural, obtido a partir da queima de uma mistura natural de calcário e argila. Como esta mistura ocorria na Natureza sem qualquer intervenção humana, as propriedades deste cimento variavam muito.

Em 1817, o jovem engenheiro Louis Vicat estava a trabalhar nas propriedades hidráulicas de uma mistura “cal-cinzas vulcânicas”. Louis Vicat foi o primeiro a determinar de uma maneira precisa, controlada e reproduzível, as proporções de sílica e calcário necessárias para se obter uma mistura que, depois da queima a uma temperatura específica e após trituração, produziu um ligante hidráulico para aplicações industriais, noutras palavras, o cimento. No entanto, ele publicou os resultados da sua pesquisa, sem a apresentação de um pedido de patente.

Em 1830, Joseph Aspdin refinou a composição de cimento desenvolvida por Louis Vicat e patenteou o processo de fabrico de um ligante hidráulico, cujo método consistia em juntar proporções bem definidas de calcário e argila, reduzi-las a pó e calciná-las num forno, de forma a obter clínquer que era depois moído até se transformar em cimento.

O produto resultante, depois de moído, tinha cor e características semelhantes às das pedras da Ilha de Portland, no sul de Inglaterra, daí ter-se-lhe dado o nome de cimento Portland.

Mais tarde, I.C. Johnson, em 1844, fixa as primeiras regras rigorosas que permitem calcular as misturas das matérias-primas e simultaneamente estabelece o controlo científico de todo o processo de fabrico (J. S. Young, 1955).

O cimento Portland é hoje, tal como na altura de Aspdin, uma combinação química predeterminada e bem proporcionada, de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeita a um processo de fabrico complexo, rigorosamente controlado e abarcando uma grande variedade de operações.

## **2.2 O processo produtivo**

Existem basicamente dois processos de fabrico de clínquer, sendo eles por via húmida e por via seca. Nas unidades de fabrico de via húmida a matéria-prima é moída juntamente com água sendo fornecida ao forno na forma de pasta ou lama. Nestes processos é necessária energia adicional para primeiro se proceder à evaporação da água contida na matéria-prima.

No processo por via seca os fornos não usam água, sendo a matéria-prima fornecida ao forno em forma de um pó fino, denominado de cru ou farinha. Existem ainda processos intermédios denominados de via semi-húmida e semi-seca.

Enquanto os processos de via húmida necessitam de valores de energia térmica acima de 5000MJ por tonelada de clínquer, um processo de via seca que opere com forno rotativo com pré-aquecedor e pré-calcionador de cinco ou seis estágios, pode consumir somente 3000MJ de energia térmica por tonelada de clínquer produzida. Os processos por vias semi-húmida e semi-seca têm consumos intermédios entre estes dois extremos.

Devido à sua ineficiencia energética, os sistemas por via húmida tendem a ser abandonados.

## **2.3 Tecnologia do processo – Fluxo produtivo**

A Figura 2.1 representa de forma esquemática o processo produtivo mais utilizado na indústria cimenteira para a produção de cimento nos tempos atuais.

Este tipo de processo assenta em sete etapas fundamentais. É, no entanto de referir, que a produção de cimento só se concretiza numa segunda etapa do processo, ou seja, depois da produção/recepção do produto intermédio, o clínquer.

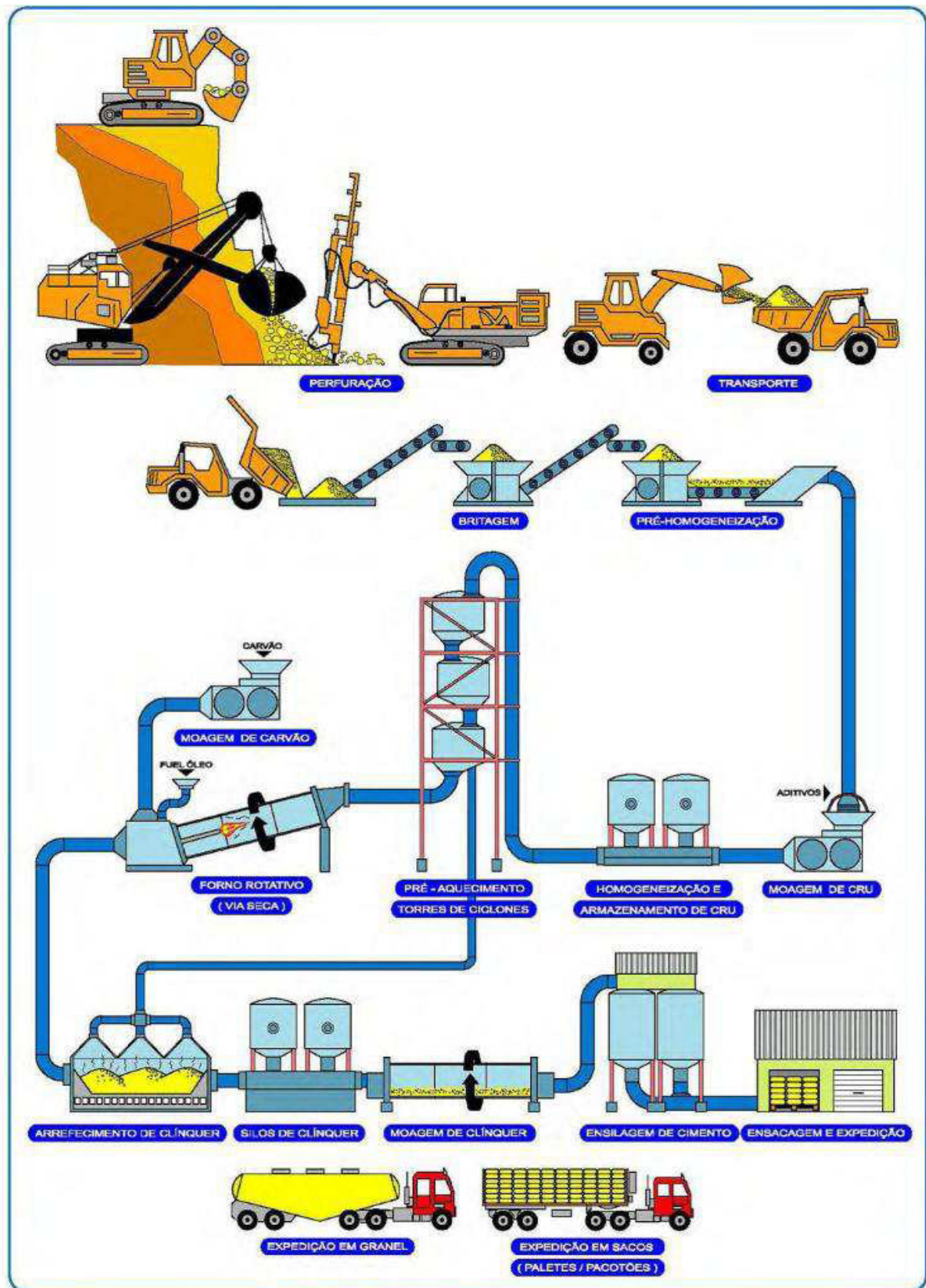


Figura 2.1 – Processo produtivo na indústria cimenteira

### **2.3.1 Extracção de Matérias-Primas**

As matérias-primas básicas para o fabrico de clínquer são o calcário e a argila e para correcção da composição do cru, são utilizadas areias (sílica) e cinzas de pirite ou granalha (óxido de ferro).

A exploração das pedreiras é efectuada a céu aberto, sendo os materiais desmontados por fragmentação primária através de explosivos. Esta exploração assenta num plano definido a médio e longo prazo, que tem como objectivo não só uma exploração eficaz, mas também a recuperação das zonas já exploradas e abandonadas. Neste plano de exploração, são definidos pisos com uma altura entre 10 e 12m.

A “etapa” da extracção de matéria-prima é complexa; de forma abreviada pode sintetizar-se considerando apenas as etapas básicas: furacão, implementação da carga explosiva e detonação.

A primeira operação de exploração é a furação – furos inclinados, com a altura do patamar – efectuados segundo uma malha reticular com  $4 \times 4$ , através de uma máquina perfuradora.

Depois desta operação, faz-se a introdução de carga explosiva, constituída por emulsão explosiva e anfo e, posteriormente, a sua explosão por detonação eléctrica temporizada.

O material resultante dos reventamentos, com uma granulometria que pode ir até cerca de 1 m de diâmetro, é carregado e transportado até à britagem por uma frota de camiões.

### **2.3.2 Preparação e Armazenagem das Matérias-Primas**

Após a fase da extracção é necessário harmonizar a granulometria da argila e do calcário, de forma a permitir a sua posterior utilização. Assim, o calcário e a argila são reduzidos a uma dimensão máxima de 50 mm, por um britador de martelos e transportados por tela, para o hangar fechado de pré-homogeneização, hangar esse que também armazena a areia e a pirite/granalha.

A colocação da mistura, por meio de uma máquina “empilhadora”, permite a sua pré-homogeneização, aquando da retoma por máquina de “roda-nora”.

Podem ser incorporadas no processo de fabrico de cimento, em substituição de matérias-primas naturais, determinadas matérias-primas secundárias cujas características permitam manter a qualidade do cru e do clínquer, assim como a não degradação das emissões atmosféricas. Os resíduos são utilizados como matérias-primas secundárias em substituição das matérias-primas originais (areia, óxidos de ferro, gesso, argila e calcário), sendo materiais que apresentam na sua constituição, como elementos principais:

- Calcário ( $\text{CaCO}_3$ )
- Sílica ( $\text{SiO}_2$ )
- Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Sulfatos

### **2.3.3 Moagem de Cru**

Nesta fase, as matérias-primas são doseadas em proporções determinadas e bem definidas (calculadas por computador e de acordo com as especificações estabelecidas para o produto intermédio – clínquer), sendo retomadas dos locais de armazenagem para os moinhos de cru por telas transportadoras. Na operação de moagem obtém-se o cru, com uma composição e granulometria específicas.

A secagem dos materiais é efectuada num britador-secador secundário e nos próprios moinhos, com aproveitamento dos gases de exaustão dos fornos. Deste modo, consegue recuperar-se parte do calor latente dos mesmos na secagem das matérias-primas que, à entrada dos moinhos, apresentam no seu conjunto uma humidade de cerca de 4% e, depois da moagem, de cerca de 0.5%.

### **2.3.4 Homogeneização a Armazenagem de Cru**

Uma vez concluída a operação de moagem, o cru é transportado para os silos de homogeneização e armazenagem.

Nos dois silos inferiores (um por linha), é obtida uma homogeneização tipo “contínua”. Caso se considere necessário, pode ainda recorrer-se à homogeneização tipo ‘batch’, aproveitando os silos superiores, os quais descarregam, após homogeneização, para os dois silos contínuos (inferiores).

### **2.3.5 Cozedura**

É durante o processo de cozedura, também conhecido por clínquerização, que se dão as reacções entre os diferentes componentes das matérias-primas. Na sequência das reacções e combinações ao longo do forno definem-se as proporções de componentes que acompanham o perfil de temperaturas. O produto resultante desta operação de cozedura é conhecido pelo nome de clínquer.

Os fornos são constituídos por um “tubo” rotativo, montado com uma inclinação que poderá ir de 2,5 a 5% e a uma velocidade de 1,5 a 2,5 r.p.m., podendo atingir comprimentos de 85 metros. Interiormente são revestidos de material refractário que confere protecção ao “tubo” e reduz as perdas térmicas. Para que se dê o processo de cozedura, ou clinquerização, é necessária uma temperatura de cerca de 1450°C, temperatura essa que se obtém pela combustão de carvão pulverizado, “pet-coke”, fuelóleo, gás natural ou outros combustíveis secundários.

As torres de ciclones e os arrefecedores permitem a recuperação, respectivamente, do calor latente dos gases de combustão e do calor latente do clínquer produzido. O cru, com composição pré-estabelecida, é retirado dos silos contínuos de homogeneização, pesado e transportado até à parte superior das torres de pré-aquecimento, por processos inteiramente automatizados.

A permuta de calor (gases/cru), efectuada nas torres em regime misto de contra-corrente e corrente paralela, faz com que o cru, que à entrada apresenta uma temperatura de cerca de 80 °C, chegue à entrada do forno com uma temperatura de cerca de 800/820 °C. O avanço do cru no forno faz-se pelo movimento rotativo deste e pelo seu grau de inclinação.

A condução do processo é efectuada a partir do comando centralizado e é controlada através de um sistema de monitorização e correcção, face a valores de referência para os diferentes parâmetros do processo.

### **2.3.6 Produção de Cimento – Moagem e Armazenamento**

O cimento obtém-se por moagem conjunta do clínquer, do regulador de presa (gesso) e de outros aditivos (cinzas volantes, escórias de alto forno, folhas de calcário, etc), consoante o tipo de cimento fabricado. O clínquer (produto intermédio), gesso e demais aditivos são retirados dos seus locais de armazenamento e transportados por elevadores e telas transportadoras para as tremonhas de alimentação aos moinhos.

Na moagem podem utilizar-se moínhos verticais ou, mais comumente, moínhos tubulares, com uma, duas ou três câmaras, funcionando em circuito aberto ou circuito fechado. Quando em circuito fechado, utilizam-se separadores para rejeitar as partículas mais grossas, que retornam ao circuito da moagem. Mais recentemente com o objectivo de conseguir poupanças energéticas, têm-se utilizado sistemas de esmagamento prévio do clínquer.

Os materiais são moídos em proporções bem definidas, de acordo com especificações de fabrico segundo as normas em vigor. O cimento produzido é normalmente transportado por via pneumática ou mecânica e armazenado em silos ou armazéns verticais.

### **2.3.7 Embalagem e Expedição**

A comercialização do cimento é feita quer a granel, em cisternas ferroviárias ou rodoviárias, quer em sacos sobre paletes de madeira ou em pacotes plastificados, quer em “big-bags”.

Os postos de carregamento do granel rodovia funcionam geralmente em regime “self-service”, para melhor satisfazer o cliente e para reduzir tempos de carga. O cimento expedido por granel é transferido directamente do silo onde está armazenado para os camiões cisterna, cisternas para transporte ferroviário ou para navios de transporte de cimento.

O ensacamento é feito em linhas de enchimento de sacos e paletização ou de empacotamento automatizadas.

## **2.4 A indústria cimenteira**

Em todo o mundo podem ser encontradas indústrias cimenteiras, tanto empresas locais, como grandes grupos ramificados por vários países.

Em 2008 existia um total de 268 instalações a produzir clínquer e cimento na União Europeia, com um total de 377 fornos (BREF, 2010), 90 instalações apenas com moagem de cimento e duas instalações apenas de produção de clínquer. A produção de cimento na UE foi dominada pela Espanha e Itália (ambos, com 16,9% do total da UE), seguido da Alemanha (13,3%). O consumo de cimento na UE27 atingiu o pico em 2007, com 266 milhões de toneladas (10,5% da produção mundial). Em 2008 o consumo caiu para o nível de 2005 (cerca de 245 milhões de toneladas), devido à desaceleração económica (CEMBUREAU, 2009).

Em 2012 a produção mundial foi de aproximadamente 3,6 bilhões de toneladas de cimento, traduzindo um aumento de cerca de 3% em relação ao ano anterior.

A Europa apresenta um decréscimo de produção, fruto, principalmente, da incerteza macroeconómica em curso que atingiu a maioria das regiões, não existindo crescimento económico na sua generalidade. Apesar da crise económica global, os volumes de produção de cimento em economias emergentes do G-20 superou claramente os de economias maduras. (CEMBUREAU, 2009)

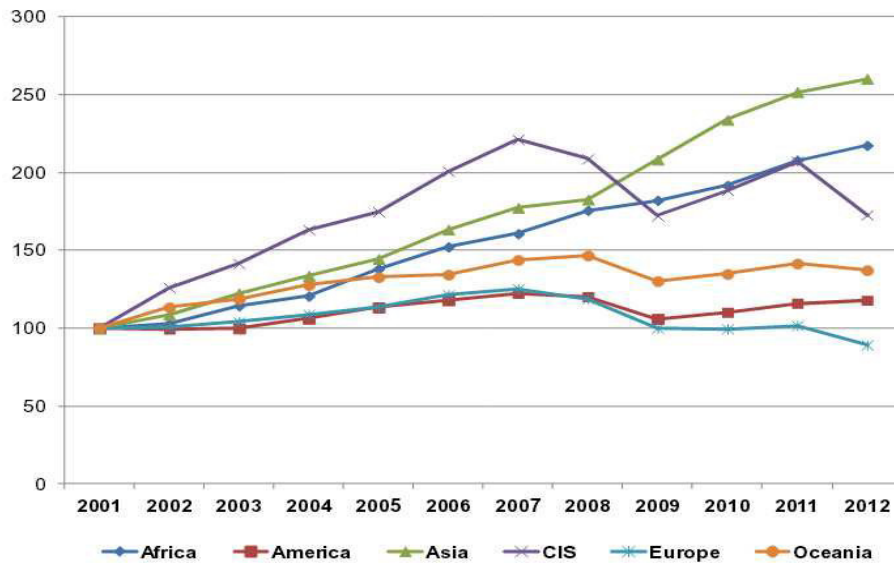


Gráfico 2.1 – Produção de cimento no mundo (milhões de toneladas)

A produção por continente mostra, claramente, o domínio da Ásia com 79,3% da produção de cimento mundial. A China, principal produtor de cimento da Ásia e do mundo vem crescendo ano a ano e em 2012 produziu 59,3% de todo o cimento produzido no mundo, tendo a Índia a segunda maior fatia com 6,6% da produção mundial. A produção continuou a aumentar em 2012, em comparação com o ano anterior na América do Sul, África e Ásia. Estas regiões foram responsáveis por 3%, 4,5% e 79,3% da produção mundial de cimento, respectivamente, em contraste com a produção mundial dos Estados-Membros da UE caiu para cerca de 4,3% (CEMBUREAU, 2012).

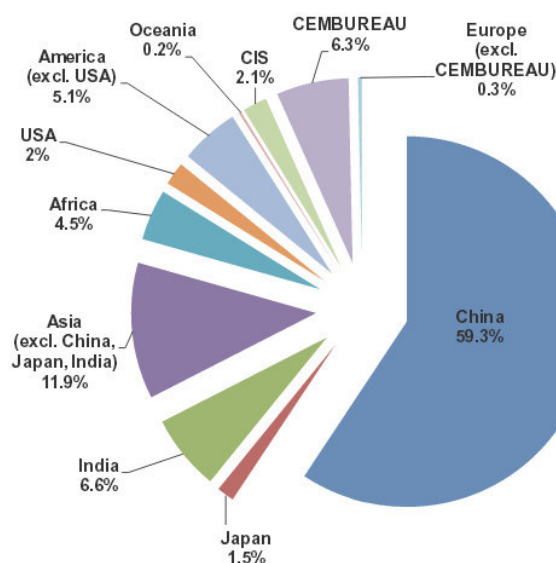


Gráfico 2.2 – Produção de cimento no mundo em percentagens

## **3. Caso em estudo**

---

### **3.1 A empresa**

A empresa de Cimentos de Leiria foi fundada por Henrique de Sommer em 1920, três anos e meio mais tarde (1923) com o seu primeiro forno rotativo de cimento, no seu estabelecimento fabril de Maceira, a cerca de 13Km a sudoeste de Leiria, sendo o primeiro forno deste tipo em Portugal.

Cinco anos mais tarde, em 1928, é montado um segundo forno rotativo Polysius, gémeo do primeiro - o forno nº 2.

O crescimento do consumo de cimento em Portugal irá determinar nove anos depois (1937) o arranque de um terceiro forno, um forno Lepol, o primeiro também a ser instalado em Portugal, com arrefecedor rotativo de clínquer e com uma produção anual da ordem das 50 000 t/ano de clínquer.

Deste modo, na década de 40, a Fábrica de Cimento Liz possuía uma capacidade instalada da ordem das 175 000 t/ano de cimento. Só vinte anos mais tarde, em 1957, será aumentada a sua capacidade de produção, com o arranque do forno nº 4, de via seca, adquirido em segunda mão na Bélgica, com uma produção da ordem das 60 000 t/ano.

Será apenas no início de 1968 que acenderá o actual forno nº 5, constituindo à época, o primeiro forno com torre de ciclones a ser montado em Portugal. Nesse mesmo ano de 1968, com o arranque do forno nº 5, será desmontado o forno nº 4 com destino a Moçambique (Nova Maceira). Em Dezembro de 1970, acenderá o forno nº 6, gémeo do forno nº 5.

Quando em Março de 1976, na sequência da nacionalização da indústria cimenteira em Portugal, é criada a Cimpor, E.P., encontrar-se-ão em funcionamento, na Fábrica de Maceira-

-Liz, para além dos fornos nº 5 e nº 6, apenas o forno nº 3 que, à época, se tornará o decano dos fornos de cimento em funcionamento no nosso País.

Entre 84/86 as linhas nº 5 e nº 6 são remodeladas e ampliadas, passando a capacidade de produção de cada um dos fornos para 1.300 t/dia de clínquer, o que confere à Fábrica de Maceira-Liz uma capacidade de produção anual de 1,4 milhões de toneladas de cimento de vários tipos, com certificado de marca de qualidade. Em 1986 iniciou-se a queima de pneus usados como combustível alternativo.

A CMP – Cimentos de Maceira e Pataias S.A., foi criada em 1992, com a integração da Fábrica de Maceira-Liz e de Pataias, no âmbito da estratégia do Governo de reprivatização da indústria cimenteira. No decorrer desse processo de privatização, passados dois anos, a Semapa adquire a CMP e a Secil (Fábrica de Outão), e posteriormente, a CMP foi comprada pela Secil.

Em 2000 foram montados novos filtros de mangas na exaustão dos fornos e arrefecedores, substituindo os eletrofiltros, algo que permitiu um novo patamar de eficácia.

No ano de 2001 foi obtida a Certificação Ambiental e da Qualidade, segundo a norma NP EN ISO 14001 e NP EN ISO 9001, respectivamente, para a exploração de pedreiras e fabrico de cimento. Em 2006 obtém a certificação pelas OHSAS 180001.

Presentemente, a actividade principal da instalação de Maceira-Liz é a produção e expedição dos seguintes produtos:

- Cimento cinzento
- Cimento Portland EN 197-1-CEM I 42,5
- Cimento Portland EN 197-1-CEM I 52,5
- Cimento Portland de calcário EN 197-1-CEM II/B-L 32,5N
- Cimento Portland de calcário EN 197-1-CEM II/A-L 42,5N
- Cimento Pozolânico EN 197-1-CEM IV/A (V) 32,5R



Figura 3.1 – Imagem aérea da Fábrica de Maceira-Liz

## 3.2 As Matérias-Primas

O fabrico de cimento implica uma enorme variedade de matérias-primas naturais (MPN) como o calcário, argila, xisto, areia, minério de ferro e gesso, como principais ingredientes, tal como outros materiais alternativos. De acordo com a Política ambiental, a Secil incorpora no seu processo, resíduos, subprodutos e outros materiais marginais, provenientes de outras indústrias, chamadas matérias-primas secundárias (MPS), reduzindo assim o consumo de matérias-primas naturais e promovendo um destino final mais sustentável para esses materiais, e retirando daí, vantagens económicas e ambientais.

As matérias-primas secundárias poderão ser de vários tipos de materiais e de diversas origens:

- Resíduos do corte e serragem da pedra
- Gravilhas e fragmentos de rocha
- Poeiras e pós
- Lamas e cal
- Resíduos de Calcinação e Hidratação de Cal

- Lamas de ETARI
- Rejeitados de placas de betão, betão e lamas de betão
- Escórias de Caldeira – consumo
- Areias Leitos Fluidizados
- Cinzas Caldeira Bioelétrica
- Cinzas de Caldeira de Biomassa
- Mistura Betão, Tijolos e Ladrilhos
- Substâncias Minerais
- Refratário Usado

A incorporação de resíduos industriais na produção de clínquer, permite uma via de obtenção de acertos de composição, sem prejuízo para as propriedades do produto final nem para a qualidade do ambiente externo, permitindo uma gestão eco-eficiente de resíduos industriais. Serão benéficos ao processo, resíduos contendo ferro e alumínio e de evitar resíduos contendo elevados teores de fluoretos, cloretos ou outros compostos voláteis.

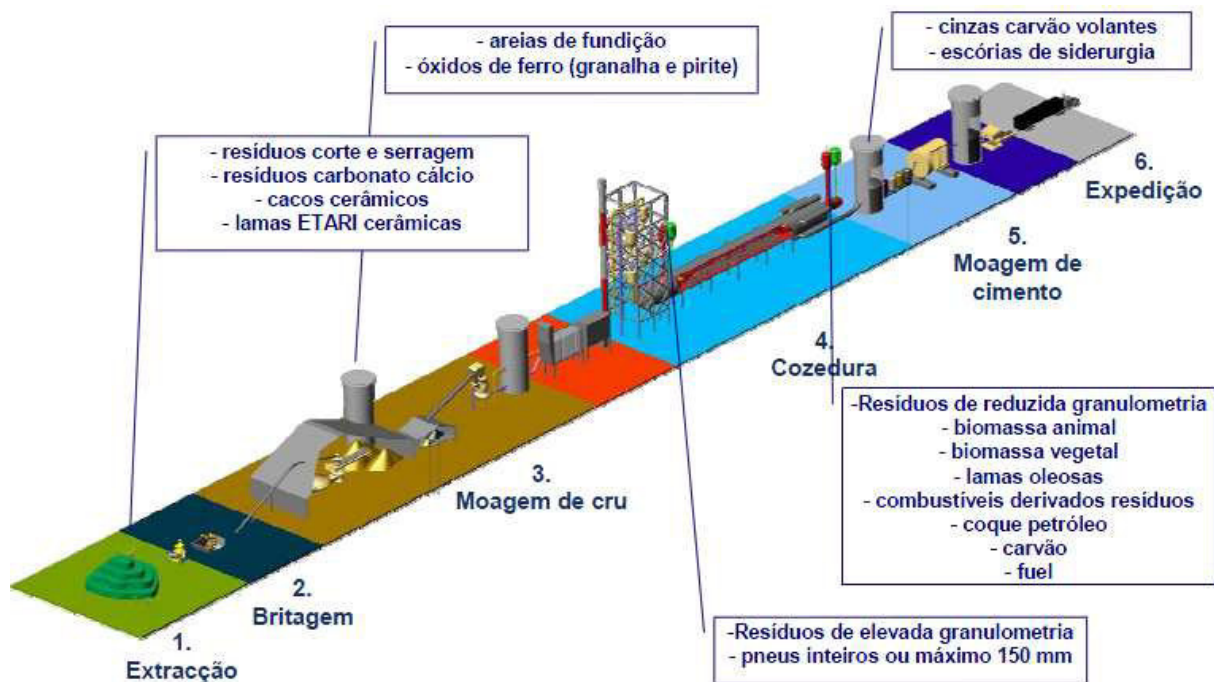


Figura 3.2 – Alimentação das matérias-primas secundárias e combustíveis alternativos no processo (Secil, 2011)

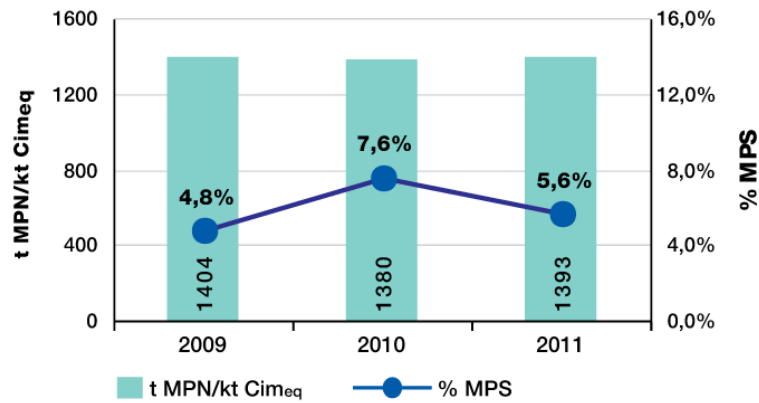


Gráfico 3.1 – Consumo de MPN por tonelada de cimento equivalente (Secil, 2012)

A taxa de utilização de matérias-primas secundárias fica condicionada pela sua composição e disponibilidade no mercado. Por vezes a qualidade das MPS obriga a que a taxa de utilização seja menor do que o objetivo inicialmente delineado.

No ano 2011 a taxa de utilização de MPS diminuiu em conjunto com o aumento da taxa de incorporação de clínquer no cimento, o que resultou no aumento do índice específico de MPN por cimento equivalente.

O conceito de cimento equivalente (CimEq), que constitui a unidade de referência no cálculo dos índices de eco-eficiência a seguir apresentados. A expressão que traduz o conceito de CimEq é a seguinte:

$$\text{CimEq (t)} = \text{Cimento Expedido (t)} + \left( \frac{\text{Clínquer Expedido (t)}}{\text{Taxa de Incorporação de Clínquer no Cimento (\%)}} \right)$$

onde,

$$\text{Taxa de Incorporação de Clínquer no Cimento} = \left( \frac{\text{Clínquer Consumido (t)}}{\text{Cimento Produzido (t)}} \right) \times 100$$

### 3.3 Produção de Cimento e de Clínquer

As produções de clínquer e cimento têm vindo a diminuir significativamente nos últimos anos, tendo sido o ano de 2007 o ano com maior volume atingindo as 1.309.743 toneladas de cimento e 910.000 toneladas de clínquer. O ano de 2012 apresenta valores que demonstram a realidade actual dos mercados, fruto da crise nacional e europeia, apresentando 833.380 toneladas de cimento e 600.659 toneladas de clínquer produzidas. Em apenas 5 anos, entre 2007 e 2012 a produção de cimento e de clínquer abrandaram 33,59% e 31,64%, respectivamente.

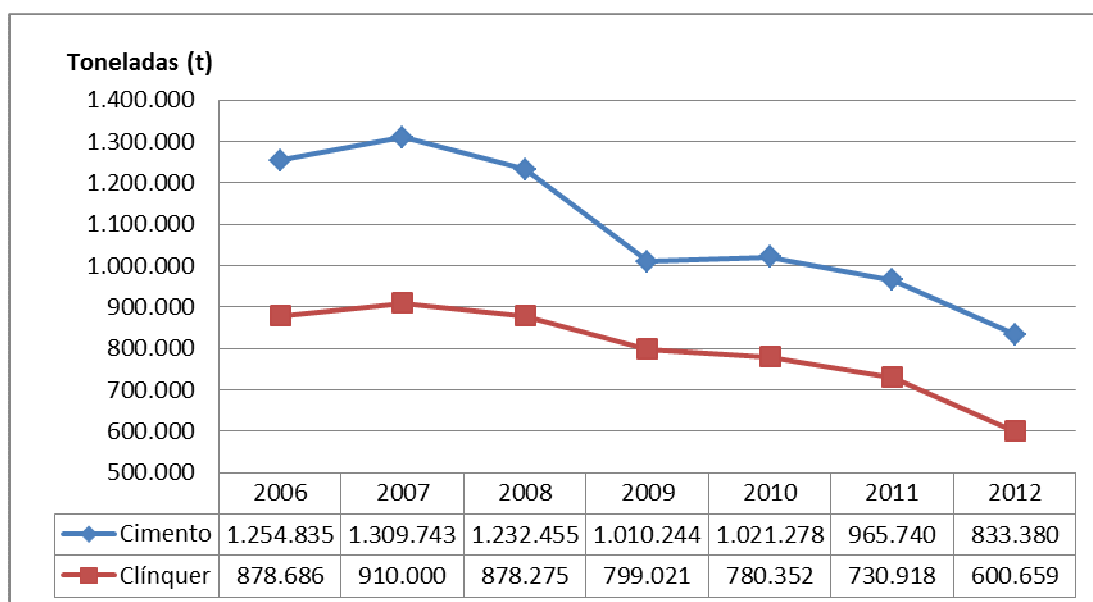


Gráfico 3.2 – Evolução da produção de clínquer e cimento 2006-2012 (Fábrica Maceira-Liz)

### 3.4 Consumo de energia

O fabrico de cimento é um processo extremamente exigente em termos energéticos, com a energia térmica e elétrica tipicamente a representar 40% dos custos operacionais. O consumo predominante é de energia térmica, sobretudo na fase de clinquerização. O uso de energia elétrica é outro factor importante, pois abrange cerca de 20% das necessidades energéticas para a produção de cimento (Comissão Europeia, 2007).

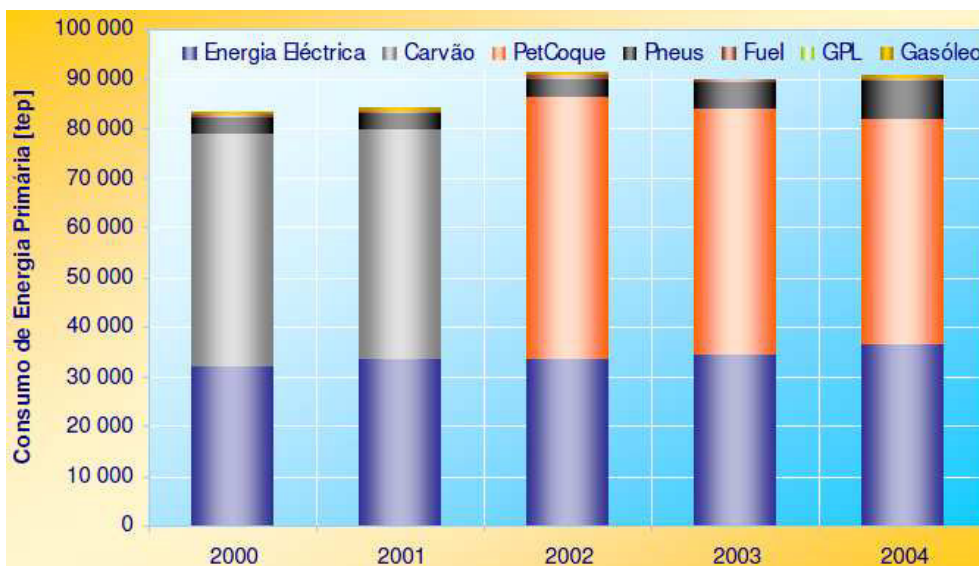


Gráfico 3.3 – Evolução dos consumos 2000-2004 (Fábrica Maceira-Liz)

A redução do consumo nestas duas componentes é da maior importância, não só pela vertente ambiental, mas também porque é uma necessidade económica que poderá ser a garantia de sustentabilidade do negócio.

### 3.4.1 Energia térmica

O consumo da energia térmica, necessária para o fabrico do clínquer, resulta da combustão dos combustíveis dentro dos fornos. A fábrica tem vindo desde 1986, a substituir os combustíveis fósseis tradicionais, como o carvão e o coque de petróleo, por combustíveis alternativos, inicialmente apenas pneus usados inteiros, e mais recentemente, resíduos vegetais e combustíveis derivados de resíduos (CDR).

A Valorização Energética de Resíduos (VER) tem originado uma crescente taxa de substituição de combustíveis alternativos, mas com estes combustíveis o rendimento energético é menor, o que origina um consumo térmico mais elevado.

No ano de 2011 o consumo térmico por tonelada de clínquer aumentou de 874 kcal/kg do ano transato, para 879, fruto do aumento do consumo de combustíveis alternativos de 31% para 41%.

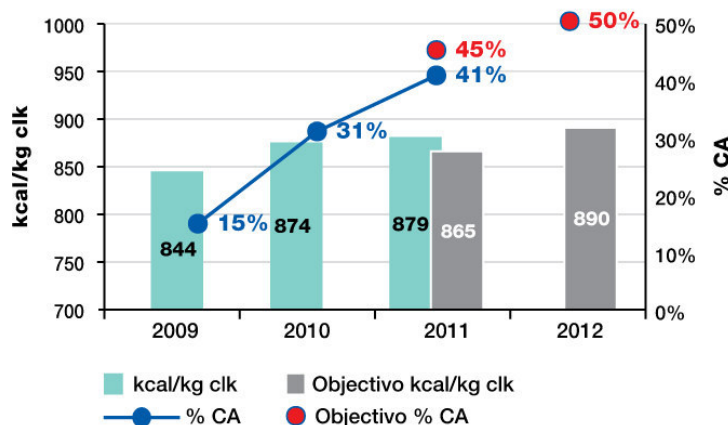


Gráfico 3.4 – Evolução do consumo térmico por tonelada de clínquer com taxa de substituição de combustíveis alternativos (CA) - Fábrica Maceira-Liz (Secil, 2012)

### 3.4.2 Energia elétrica

Numa empresa cimenteira os principais consumidores de energia elétrica são os moínhos, que representam mais de 60% do consumo de energia elétrica (WBCSD/CSI,ECRA, 2009). Também os ventiladores de tiragem dos fornos, arrefecedores e moagens de cimento são consumidores consideráveis, representando 20%, o que juntamente com os moínhos se traduz em mais de 80% do consumo de energia elétrica (CEMBUREAU, 2006). No entanto, a eficiência energética da moagem é tipicamente apenas 5 a 10%, sendo a energia restante convertida em calor (IEA, 2006).

A Fábrica da Maceira-Liz é alimentada em alta tensão, recebendo a energia eléctrica da rede pública sob a forma de corrente alternada trifásica, à tensão nominal de 60 kV entre fases no local de entrega, tendo uma potência instalada de 26MVA. O consumo é contabilizado em alta tensão, por intermédio de contador combinado fornecido e instalado pela EDP, que faz o processamento / tratamento tarifário das grandezas:

- Energia e potências ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva;
- Equipamento de telecontagem que permite ter acesso ao histórico de consumos de energias ativa e reativa e potência tomada máxima.

A redução de tensão é feita numa subestação onde estão instalados, no interior, quatro Transformadores de 6,5 MVA (60/6 kV), ligados em paralelo, do tipo serviço contínuo e arrefecimento natural.

A distribuição da energia elétrica no complexo fabril é feita através de uma rede de 6kV, para alimentar 23 Postos de Transformação e 9 motores de Média Tensão referentes ao britador de martelos da britagem, 3 moínhos de cru, moínho de filer, rolo fixo e rolo móvel da prensa de rolos (roll press), 3 moínhos de cimento e 2 ventiladores de tiragem dos gases dos fornos.

Em 2011 o consumo específico global de energia elétrica foi de 112,9 kWh/t cim, valor mais elevado do que em anos anteriores. Este aumento do consumo deve-se à ampliação das instalações e consequente aumento de equipamentos, relacionados com o Parque de Combustíveis Alternativos, bem como de uma maior solicitação do mercado de cimentos de mais alta resistência, que exige um maior dispêndio de energia na fase de moagem.

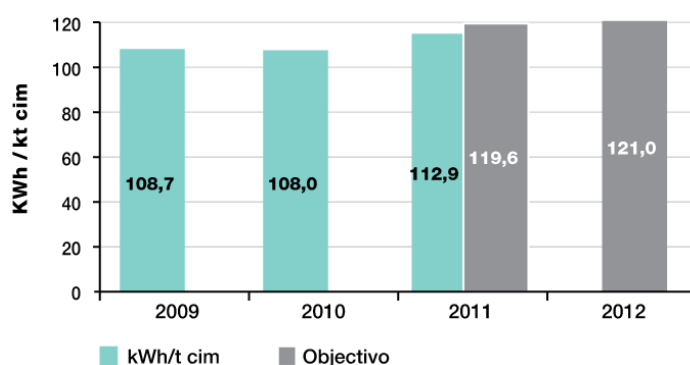


Gráfico 3.5 – Consumo de energia elétrica por tonelada de cimento - Fábrica Maceira-Liz (Secil, 2012)

### 3.5 Medidas de racionalização de Energia

Grande quantidade dos problemas de uso não eficiente da energia na indústria devem-se à gestão inadequada na administração dos recursos e não a restrições de capacidade ou à desactualização da tecnologia produtiva existente. A gestão energética faz-se geralmente de forma cíclica em conformidade com aumentos ou baixa dos preços dos recursos energéticos primários que se consomem. Nos últimos tempos o crescimento dos custos energéticos passou a ser parte preocupante e crescente dos custos de produção e os métodos tradicionais de

administração dos recursos energéticos não conseguem baixá-los sem realizar grandes inversões em trocas de tecnologia.

A busca pela eficiência induz as organizações ao combate das perdas, trazendo, como consequência, a melhoria da produtividade e qualidade da energia eléctrica, contribuindo, também, para a redução dos custos, sendo, portanto, uma questão de sobrevivência para essas empresas em ambiente competitivo.

Com a finalidade de caracterizar o sector energético global da Fábrica de Maceira-Liz, foi realizada uma auditoria energética em Outubro de 2006. Por forma a dar cumprimento ao Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (Dec-Lei 58/82 de 26 de Fevereiro).

O Decreto-lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, veio criar um quadro legal para a existência de regulamentação para as empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia. As empresas ou instalações consumidoras intensivas de energia são aquelas nas quais se verifique uma das seguintes condições:

- Consumo energético anual superior a 1.000 tep (cerca de 3.450.000 kwh);
- Instalação com equipamentos cuja soma dos consumos energéticos nominais exceda 0,500 tep/hora (cerca de 1.720 kwh/hora);
- Instalação com pelo menos um equipamento cujo consumo energético nominal seja 0,300 tep/hora (cerca de 1.030 kwh/hora).

O 1º Regulamento de Gestão do Consumo da Gestão e Energia (Portaria n.º 359/82, de 7 de Abril) prevê 3 fases distintas a saber:

- Auditoria Energética;
- Plano de Racionalização de Consumos Energéticos;
- Monitorização e Controlo do PRCE.

Cada ciclo de Gestão do Consumo de Energia tem um prazo pré-definido de 5 anos. Ou seja, cada ciclo é iniciado por uma auditoria energética, a que se segue a elaboração de um PRCE, que será executado durante o prazo de gestão aplicável. No final deste inicia-se um novo ciclo.

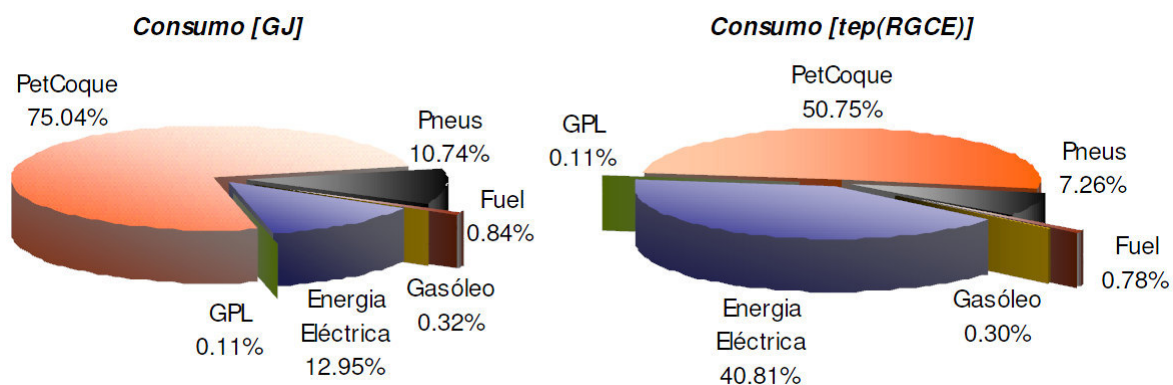
No PRCE da instalação foram calculados os consumos específicos de energia para o clínquer e para o cimento, assim como as metas de redução a atingir no período de 5 anos.

Neste capítulo são assim apresentados os consumos específicos de energia calculados para o período 2005-2010, no que se refere ao clínquer e ao cimento e a sua comparação com as metas definidas. Para determinação do consumo específico do clínquer e do cimento foi necessário alocar os consumos das várias formas de energia a cada um deles. A distribuição dos consumos de energia eléctrica foi retirada dos mapas de energia da instalação, corrigidos proporcionalmente para os valores das facturas da EDP. O gás propano e o gasóleo foram alocados na mesma proporção às duas fases do processo.

O consumo de energia da empresa no ano 2005 foi de 90.308,07 tep correspondendo a cerca de 3.533.574,18 GJ. Em termos de energia primária, o PetCoque representou 50,75%, a energia eléctrica 40,81%, os pneus 7,26%, o fuel 0,78%, o gasóleo 0,30% e o GPL 0,11%. No que respeita ao consumo, em termos de energia final, estas percentagens representaram 75,04% para o PetCoque, 12,95% para a energia eléctrica, 10,74% para os pneus, 0,84% para o fuel, 0,32% para o gasóleo e 0,11% para o GPL.

**Quadro 3.1 – Consumos por Forma de Energia (2005)**

| Forma de Energia         | Energia |             |                  |               |                 |               |
|--------------------------|---------|-------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|
|                          | Unid.   | Quant.      | GJ               | %             | tep             | %             |
| <i>Energia Eléctrica</i> | kWh     | 127 070 628 | 457 454          | 12.9%         | 36 850.5        | 40.8%         |
| <i>PetCoque</i>          | kg      | 81 403 090  | 2 651 706        | 75.0%         | 45 829.9        | 50.7%         |
| <i>Pneus</i>             | kg      | 15 902 600  | 379 516          | 10.7%         | 6 551.9         | 7.3%          |
| <i>Fuel</i>              | kg      | 736 920     | 29 620           | 0.8%          | 707.4           | 0.8%          |
| <i>GPL</i>               | kg      | 84 609      | 3 896            | 0.1%          | 96.5            | 0.1%          |
| <i>Gasóleo</i>           | kg      | 260 167     | 11 382           | 0.3%          | 271.9           | 0.3%          |
| <i>Total</i>             |         |             | <b>3 533 574</b> | <b>100.0%</b> | <b>90 308.1</b> | <b>100.0%</b> |



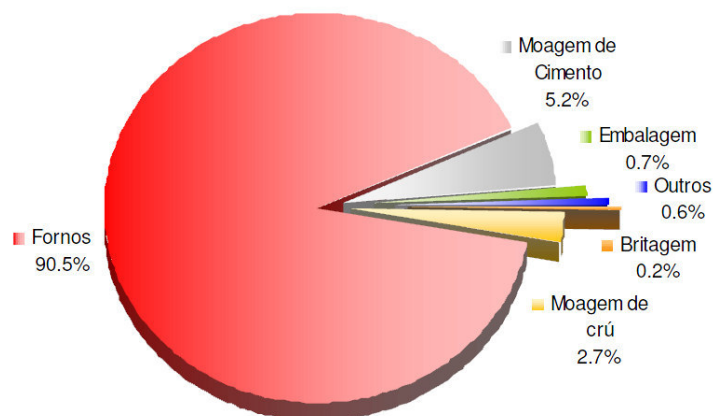
**Gráfico 3.6 – Distribuição dos Consumos por Forma de Energia (2005)**

A empresa apresentou, para o mesmo período temporal (2005), uma produção de 863.618 t/ano de clínquer e 1.335.746 t/ano para o cimento, resultando num consumo específico de 86,6 kgep/t e 12,7 kgep/t, respectivamente. Em 2000, a Direcção Geral de Energia e Geologia publicou, no âmbito do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), um valor de consumo específico de referência 'K', para cada um dos produtos relacionados com a empresa, tendo sido atribuído o valor de 92,0 kgep/t para o clínquer e de 11,0 kgep/t para o cimento normal (moagem de clínquer), (DGEG, 2000). Na auditoria efectuada, verificou-se que no caso do clínquer, a empresa se encontrava abaixo do valor 'K', o que não aconteceu com o cimento.

Conhecidos os níveis de energia consumidos na instalação, foi realizada a desagregação do consumo, para se proceder à distribuição dos consumos totais da instalação por cada uma das secções do processo, de modo a poder determinar o consumo de energia por produto fabricado. A desagregação dos consumos de energia foi individualizada pela Britagem, Moagem de Cru, Fornos, Moagem de Cimento, Embalagem e outros (extração de águas, bairro social, edifícios administrativos, arruamentos e Fábrica de Sacos de Papel).

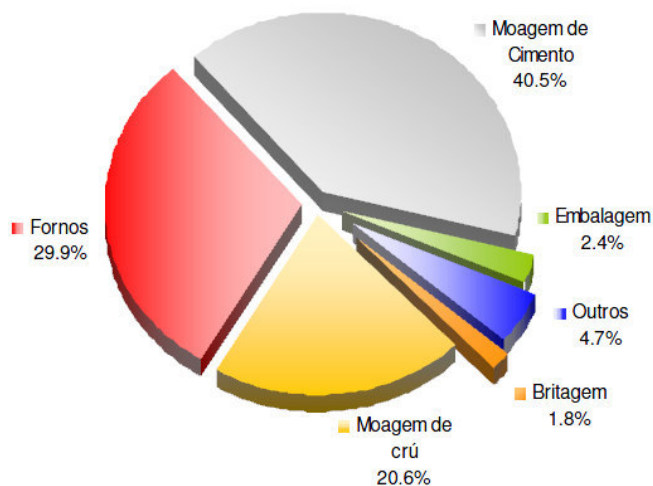
**Quadro 3.2 – Distribuição de Consumos Energéticos em GJ (2005)**

| FORMAS DE ENERGIA |     | PROCESSOS    |               |               |                   |              |              | Energia Total |
|-------------------|-----|--------------|---------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|---------------|
|                   |     | Britagem     | Moagem de cru | Fornos        | Moagem de Cimento | Embalagem    | Outros       |               |
| Energia Eléctrica | %   | 1.8%         | 20.6%         | 29.9%         | 40.5%             | 2.4%         | 4.7%         | 100.0%        |
|                   | kWh | 2 292 614.26 | 26 196 512.90 | 38 057 020.36 | 51 440 208.36     | 3 058 371.69 | 6 025 900.43 | 127 070 628.0 |
|                   | GJ  | 8 253.41     | 94 307.45     | 137 005.27    | 185 184.75        | 11 010.14    | 21 693.24    | 457 454.26    |
| GPL               | %   | -            | -             | -             | -                 | 100.0%       | -            | 100.0%        |
|                   | kg  | -            | -             | -             | -                 | 84 609.00    | -            | 84 609.0      |
|                   | GJ  | -            | -             | -             | -                 | 3 895.91     | -            | 3 895.91      |
| PetCoque          | %   | -            | -             | 100.0%        | -                 | -            | -            | 100.0%        |
|                   | kg  | -            | -             | 81 403 090.00 | -                 | -            | -            | 81 403 090.0  |
|                   | GJ  | -            | -             | 2 651 705.66  | -                 | -            | -            | 2 651 705.66  |
| Pneus             | %   | -            | -             | 100.0%        | -                 | -            | -            | 100.0%        |
|                   | kg  | -            | -             | 15 902 600.00 | -                 | -            | -            | 15 902 600.0  |
|                   | GJ  | -            | -             | 379 515.55    | -                 | -            | -            | 379 515.55    |
| Fuel              | %   | -            | -             | 100.0%        | -                 | -            | -            | 100.0%        |
|                   | kg  | -            | -             | 736 920.00    | -                 | -            | -            | 736 920.0     |
|                   | GJ  | -            | -             | 29 620.50     | -                 | -            | -            | 29 620.50     |
| Gasóleo           | %   | -            | -             | -             | -                 | 100.0%       | -            | 100.0%        |
|                   | kg  | -            | -             | -             | -                 | 260 167.09   | -            | 260 167.09    |
|                   | GJ  | -            | -             | -             | -                 | 11 382.31    | -            | 11 382.31     |
| Energia Total     | %   | 0.2%         | 2.7%          | 90.5%         | 5.2%              | 0.7%         | 0.6%         | 100.0%        |
|                   | GJ  | 8 253.41     | 94 307.45     | 3 197 846.98  | 185 184.75        | 26 288.35    | 21 693.24    | 3 533 574.18  |



**Gráfico 3.7 – Consumo de Energia por Sector (2005)**

A energia eléctrica é uma das formas de energia mais consumida na instalação, para além disso, é também consumida em todas as secções, o que não acontece com os combustíveis. Foi efetuada a desagregação da energia eléctrica pelos mesmos sectores considerados anteriormente.



**Gráfico 3.8 – Distribuição do Consumo de Energia Eléctrica por Sector (2005)**

O consumo de energia eléctrica está fortemente relacionado com a força motriz instalada nas secções das moagens, quer seja do clínquer, quer seja do cimento. Tal facto é perceptível na representatividade destas secções, que assumem 40,5% na moagem de cimento e 20,6% na moagem de cru. Os fornos e as estruturas que lhe dizem respeito representam 29,9% do total

de energia eléctrica. Por fim, surge a embalagem que representa 2,4%, a britagem com 1,8% e a secção denominada de “Outros” com 4,7%.

Como no RGCE foi estabelecido um ‘K’ tanto para o clínquer, como para o cimento, foi efetuada a desagregação das várias formas de energia, para cada um dos produtos

**Quadro 3.3 – Desagregação do consumo de energia por produto (2005)**

| FORMAS DE ENERGIA |     | Produtos     |              | Energia Total |
|-------------------|-----|--------------|--------------|---------------|
|                   |     | Clínquer     | Cimento      |               |
| Energia Eléctrica | %   | 55.2%        | 44.8%        | 100.0%        |
|                   | kWh | 70 142 986.7 | 56 927 641.3 | 127 070 628.0 |
|                   | tep | 20 341.5     | 16 509.0     | 36 850.5      |
| GPL               | %   | 0.0%         | 100.0%       | 100.0%        |
|                   | kg  | 0.0          | 84 609.0     | 84 609.0      |
|                   | tep | 0.0          | 96.5         | 96.5          |
| PetCoque          | %   | 100.0%       | 0.0%         | 100.0%        |
|                   | kg  | 81 403 090.0 | 0.0          | 81 403 090.0  |
|                   | tep | 45 829.9     | 0.0          | 45 829.9      |
| Pneus             | %   | 100.0%       | 0.0%         | 100.0%        |
|                   | kg  | 15 902 600.0 | 0.0          | 15 902 600.0  |
|                   | tep | 6 551.9      | 0.0          | 6 551.9       |
| Fuel              | %   | 100.0%       | 0.0%         | 100.0%        |
|                   | kg  | 736 920.0    | 0.0          | 736 920.0     |
|                   | tep | 707.4        | 0.0          | 707.4         |
| Gasóleo           | %   | 0.0%         | 100.0%       | 100.0%        |
|                   | kg  | 0.0          | 260 167.1    | 260 167.1     |
|                   | tep | 0.0          | 271.9        | 271.9         |
| Energia total     | %   | 81.3%        | 18.7%        | 100.0%        |
|                   | tep | 73 430.7     | 16 877.3     | 90 308.1      |

Apenas a energia eléctrica apresentou uma desagregação por produto, visto que as outras formas de energia consideradas apenas corresponderam a uma fase do produto. Assim, para a desagregação do consumo de energia eléctrica foi considerado que o clínquer contempla a energia eléctrica das fases: Britagem, Moagem de cru, Fornos e 60% da parcela Outros. Quanto ao cimento, contempla a energia eléctrica das fases: Moagem de cimento, Embalagem e 40% da parcela Outros.

Conhecidos os valores de consumos foi elaborado o PRCE para a redução do consumo específico de energia para 5 anos (2005-2010).

Quadro 3.4 – Meta prevista de redução de consumo energético (2005-2010)

| PRODUTO  | ANO DE REFERÊNCIA |                    |                             | $K_{RGCE}$<br>(kgep/t) | $K_C$<br>(kgep/t) | $M = (C_0 - K_C)/2$<br>(kgep/t) | $C_5 = C_0 - M$<br>(kgep/t) |
|----------|-------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|          | $P_0$<br>(t/ano)  | $E_0$<br>(tep/ano) | $C_0 = K_C/P_0$<br>(kgep/t) |                        |                   |                                 |                             |
| Clinquer | 863 618           | 74794              | 86.6                        | 92.0                   | 77.9              | 4.3                             | 82.3                        |
| Cimento  | 1 335 746         | 17018              | 12.7                        | 11.0                   | 11.0              | 0.9                             | 11.9                        |

Onde:

$P_0$ =Produção

$E_0$ =Consumo de Energia

$C_0$ =Consumo Específico de Energia

$K_{RGCE}$ =Valor do Consumo Específico de Energia de Referência definido pela DGGE

$K_C$ =Valor do Consumo Específico de Energia de Referência a Considerar

$M$ =Redução do Consumo Específico de Energia ao fim de 5 anos

$C_5$ =Consumo Específico de Energia que deverá ser atingido ao fim de 5 anos

Quadro 3.5 – Objetivos para redução de consumo energético (2005-2010)

| PRODUTO  | 2006              |              |                | 2007              |              |                | 2008              |              |                | 2009              |              |                | 2010              |              |                |
|----------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|----------------|
|          | $C_1$<br>(kgep/t) | $P_1$<br>(t) | $E_1$<br>(tep) | $C_2$<br>(kgep/t) | $P_2$<br>(t) | $E_2$<br>(tep) | $C_3$<br>(kgep/t) | $P_3$<br>(t) | $E_3$<br>(tep) | $C_4$<br>(kgep/t) | $P_4$<br>(t) | $E_4$<br>(tep) | $C_5$<br>(kgep/t) | $P_5$<br>(t) | $E_5$<br>(tep) |
| Clinquer | 85,7              | 863.618      | 74.047         | 84,9              | 863.618      | 73.304         | 84,0              | 863.618      | 72.561         | 83,2              | 863.618      | 71.818         | 82,3              | 863.618      | 71.076         |
| Cimento  | 12,5              | 1.335.746    | 16.724         | 12,3              | 1.335.746    | 16.483         | 12,2              | 1.335.746    | 16.243         | 12,0              | 1.335.746    | 16.002         | 11,9              | 1.335.746    | 15.762         |

Onde:

$C_1 = C_0 - M/5$  (Objetivo do consumo específico de energia para o ano 1)

$C_2 = C_0 - 2M/5$  (Objetivo do consumo específico de energia para o ano 2)

$C_3 = C_0 - 3M/5$  (Objetivo do consumo específico de energia para o ano 3)

$C_4 = C_0 - 4M/5$  (Objetivo do consumo específico de energia para o ano 4)

$C_5 = C_0 - 5M/5$  (Objetivo do consumo específico de energia para o ano 5)

$P_i$ =Produção (Igual ao ano de referência)

$E_i = C_i \times P_i$  (Consumo de energia calculado para o ano i)

### **3.5.1. Medidas de URE propostas**

No PRCE, foram estabelecidas algumas medidas de carácter geral, para possibilitar economias de energia em alguns sectores, para um prazo de 2005 a 2010.

- **Valorização de Resíduos e Equipamentos em Fim-de-vida**

A Fábrica de Maceira-Liz pretendia valorizar anualmente combustíveis alternativos (resíduos industriais banais) que se traduzam em aproximadamente  $2,20 \times 10^6$  GJ/ano, sendo que o consumo instalado é de aproximadamente  $3,14 \times 10^6$  GJ/ano proveniente de combustíveis fósseis. As quantidades a valorizar dependeriam do poder calorífico individual dos resíduos, podendo variar entre 8,5 e 32 MJ/kg. Assim, foi aconselhado o aumento gradual da queima de combustíveis alternativos em substituição do Petcoque.

- **Aumento da Produção de Cimentos Compósitos**

Uma das formas encontradas para reduzir os consumos específicos de energia foi a incorporação de filer calcário em substituição do clínquer. Esta incorporação de filer poderia ir até aos 40% do total de cimento, contrariamente aos típicos 10% dos cimentos 'normais'. Assim, foi recomendado que fossem levadas ao extremo estas percentagens de incorporação filer calcário de modo a reduzir as percentagens de incorporação de clínquer e assim baixar drasticamente o consumo de energia na produção de clínquer e consequentemente os consumos específicos de energia globais da instalação.

Contudo deve referir-se que esta medida estaria sempre dependente da aceitação do mercado.

- **Substituição de motores standard por motores de alta eficiência**

O consumo de energia eléctrica na instalação é essencialmente para a produção de força motriz através de motores de indução trifásicos.

A substituição de motores standard por motores de alto rendimento, poderia traduzir-se em economias significativas nos custos de funcionamento do motor, economias essas que compensariam o maior custo inicial de um motor mais eficiente relativamente aos motores standard.

Comparativamente aos motores standard, os motores de alto rendimento apresentam tipicamente menos 30% – 50% de perdas, o que se traduz num aumento de rendimento que vai de 3 a 11,5%.

Foi recomendada a substituição sectorial dos motores standard existentes por motores de alta eficiência, devendo considerar-se a substituição parcial por secção em função dos respectivos períodos de funcionamento, assim como serem ponderados os motores de menor potência numa fase inicial de orçamentação.

- **Instalação de Variadores Electrónicos de Velocidade em ventiladores**

A Fábrica de Maceira-Liz já vinha a efetuar grandes investimentos em variação electrónica de velocidade, nomeadamente em grandes ventiladores. Assim, foi sugerida a continuação dessa prática, já que com esse tipo de tecnologia é possível adequar o consumo dos motores associados aos ventiladores às reais necessidades do processo.

Grande parte das aplicações em que se utiliza força motriz teria benefícios, em termos de consumo de energia eléctrica e desempenho global, se a velocidade do motor fosse ajustada às necessidades do processo. Os potenciais benefícios da aplicação de VEV incluem menos desgastes nos componentes mecânicos e uma poupança substancial de energia.

- **Substituição de balastros ferro-magnéticos por balastros electrónicos**

Devido à enorme quantidade e diversidade de tipos de iluminação instalados, não foi possível caracterizar o sector da iluminação, no entanto verificou-se que na iluminação fluorescente eram utilizados balastros convencionais (ferro-magnéticos).

Os balastros convencionais são responsáveis por elevadas perdas energéticas e os arrancadores são responsáveis por tempo de ocupação/homem relativamente elevado na sua substituição. Estes problemas poderiam ser atenuados com a introdução de balastros electrónicos que têm menores perdas e evitam a utilização de arrancadores.

Os balastros electrónicos aumentam o tempo de vida útil da lâmpada, reduzem o efeito de *flicker* (as variações luminosas provocadas pela flutuação da tensão de alimentação), eliminam o zumbido e reduzem o consumo de energia da lâmpada aumentando a sua eficiência luminosa.

- **Substituição de reactâncias ferro-magnéticas por reactâncias electrónicas**

Verificou-se que na iluminação de descarga (vapor de sódio de alta pressão e vapor de mercúrio) eram utilizadas as reactâncias convencionais, responsáveis por elevadas perdas energéticas.

Assim foi recomendada a substituição das reactâncias instaladas por reactâncias electrónicas, o que permitiria otimizar o consumo deste tipo de iluminação, onde normalmente se admitem valores médios de redução de consumo que se situam entre os 20-30%.

- **Acções de formação em gestão de energia**

Foi sugerida a realização de acções de formação aos funcionários, de modo a proporcionar-lhes alguns conhecimentos sobre os consumos energéticos das instalações, assim como fornecer-lhes informações sobre como utilizar eficientemente os equipamentos e instalações que operam, de forma a utilizarem racionalmente a energia.

Considerou-se que com a realização de acções de formação periódicas conseguir-se-ia uma redução do consumo global de energia de cerca de 0,5%.

### **3.5.2. Medidas de melhorias efetuadas**

A fábrica de Maceira-Liz foi realizando investimentos ao longo dos anos, que foram conduzindo à utilização das melhores tecnologias disponíveis. Ainda assim foram levadas a cabo algumas melhorias tanto no processo, como nos equipamentos, a maioria delas sugeridas no PRCE. As principais medidas tomadas foram as seguintes:

- **Valorização Energética de Resíduos (VER)**

A valorização energética de resíduos é vista como uma alternativa muito viável aos combustíveis fósseis, sendo vista como um dos principais fatores de competitividade no setor cimenteiro. Devido à complexidade envolvida, a VER está detalhada no capítulo 4 deste projeto.

- **Aumento da Produção de Cimentos Compósitos**

Os cimentos do tipo I são cimentos que possuem na sua constituição 95 a 100% de incorporação de clínquer na sua composição. A aposta da utilização de cimentos do tipo II (cimentos compostos), exceptuando algumas situações em que se torna necessário assegurar a compatibilidade com a aplicação específica, resulta numa menor intensidade de carbono do produto e um menor consumo de energia eléctrica no processo de moagem.

**Quadro 3.6 – Os 27 produtos da família dos cimentos correntes (NP EN 197-1)**

| Tipos Principais | Notação dos 27 produtos (tipos de cimento corrente) |            | Composição (percentagem em massa a ) |                       |                   |                 |                   |               |          |              |          |     | Contituíntes adicionais minoritários |     |
|------------------|---|------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------|----------|--------------|----------|-----|--------------------------------------|-----|
|                  |   |            | Clínquer                             | Escória de alto forno | Sílica de fumo    | Pozolana        |                   | Cinza volante |          | Xisto cozido | Calcário |     |                                      |     |
|                  |   |            |                                      |                       |                   | natural         | natural calcinada | siliciosa     | calcária |              | L        | LL  |                                      |     |
| K                | S   | D b)       | 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 |
|                  | Cimento Portland de sílica de fumo                  | CEM II/B-S | 65-79                                | 21-35                 | -                 | -               | -                 | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  | Cimento Portland de pozolana                        | CEM II/A-D | 90-94                                | -                     | 6-10              | -               | -                 | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/A-P | 80-94                                | -                     | -                 | 6-20            | -                 | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/B-P | 65-79                                | -                     | -                 | 21-35           | -                 | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  | Cimento Portland de cinza volante                   | CEM II/A-Q | 80-94                                | -                     | -                 | -               | 6-20              | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/B-Q | 65-79                                | -                     | -                 | -               | 21-35             | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/A-V | 80-94                                | -                     | -                 | -               | -                 | 6-20          | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  | Cimento Portland de xisto cozido                    | 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 calcário                        | CEM II/A-T | 80-94                                | -                     | -                 | -               | -                 | -             | -        | 6-20         | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/B-T | 65-79                                | -                     | -                 | -               | -                 | -             | -        | 21-35        | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM II/A-L | 80-94                                | -                     | -                 | -               | -                 | -             | -        | -            | 6-20     | -   | -                                    | 0-5 |
|                  | Cimento Portland composto c)                        | 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                                  |     |
|                  |   |            | 80-94                                | ←-----6-20-----→      |                   |                 |                   |               |          |              |          | 0-5 |                                      |     |
|                  |   |            | 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 c)                               | CEM IV/A   | 65-89                                | -                     | ←-----11-35-----→ |                 |                   |               |          | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM IV/B   | 45-64                                | -                     | ←-----36-55-----→ |                 |                   |               |          | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
| CEM V            | Cimento Composto c)                                 | CEM V/A    | 40-64                                | 18 - 30               | -                 | ←-----18-30 --> |                   | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |
|                  |   | CEM V/B    | 20-38                                | 31 - 50               | -                 | ←-----35-50 --> |                   | -             | -        | -            | -        | -   | -                                    | 0-5 |

a) Os valores do quadro referem-se à soma dos constituintes principais e dos adicionais minoritários.  
b) A incorporação de sílica de fumo é limitada a 10 %.

A redução do consumo de matérias-primas naturais passa por, cada vez mais, pela utilização de matérias-primas secundárias. Contudo a substituição de matérias-primas naturais por matérias-primas secundárias encontra-se dependente da disponibilidade destes materiais no mercado, que muitas vezes é baixa. Para solucionar o problema, a opção passou por aumentar a adição de cimentos compostos, através da utilização de matéria-prima natural (calcário). Assim, foi instalada uma nova moagem para filer calcário com uma capacidade de 50 ton/h (2008) e um misturador para o fabrico final de cimento (2007). Ambos os investimentos tiveram como finalidade a redução do tempo de moagem nos moínhos de cimento, pois estes só irão moer o clínquer e o gesso. Existe também a possibilidade de armazenar o filer calcário

moído em silos, podendo com o misturador, fabricar os cimentos compostos com maior facilidade, tornando o processo mais rápido.

A Secil estabeleceu como objetivo a redução, em 15% até 2015, das emissões específicas de CO<sub>2</sub> por tonelada de produto cimentício, tendo por base os valores de 1990, isto é, alcançar o valor de 600 kgCO<sub>2</sub>/t prod cimentício.

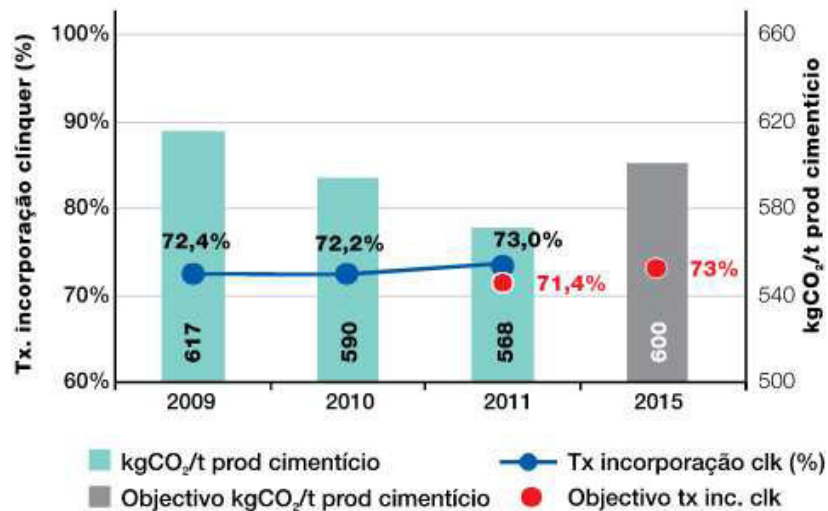


Gráfico 3.9 – Relação entre as emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de produto cimentício e a taxa de incorporação de clínquer (Secil, 2012)

- **Aplicação de motores de alta eficiência**

Os motores standard têm vindo a ser substituídos por motores de alta eficiência IE2 nos anos mais recentes, no início em instalações ou equipamentos novos e em casos de aquisição de motores novos para substituição. Em casos de motores queimados, ou com os rolamentos danificados, também começou a não se proceder à sua reparação, passando por aquisição de novos de alta eficiência para a sua substituição. A substituição começou a ser feita em motores de baixas potências, indo progressivamente subindo até aos valores de potência atuais de substituição direta de 30 kW. O preço de reparação de um motor queimado pode atingir facilmente 50 a 60% do valor de um motor novo, e como a maioria dos motores na indústria cimenteira trabalha em regime permanente, o payback é obtido em poucos anos, na sua maioria entre 2 a 5 anos.

- **Introdução de VEV em ventiladores**

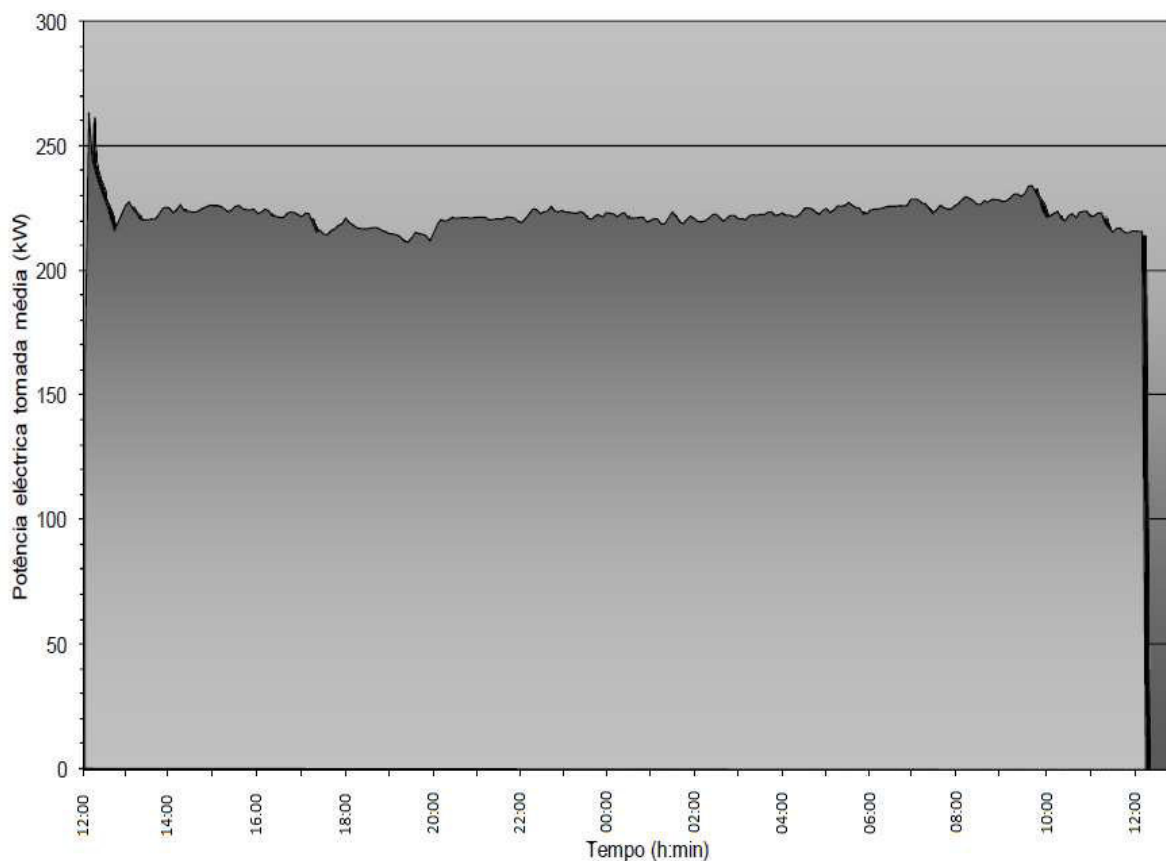
Alguns dos principais ventiladores de tiragem no processo de fabrico, principalmente na cozedura e moagens de cru, desde a sua instalação que têm velocidade variavel associada a sistemas eletrónicos, tendo os motores rotor bobinado e resistências de arranque. Alguns desses sistemas eletrónicos têm vindo a ser substituídos por motores de rotor em curto-circuito com VEV de última geração.



**Figura 3.3 – Variador de velocidade e motor do ventilador do filtro de mangas do forno e cru**

Ainda assim existiram alguns casos de ventiladores, com arranque direto e válvulas de estrangulamento para regulação do caudal de ar, e com potências nominais consideráveis.

O ventilador de tiragem do filtro de mangas é essencial para o funcionamento da moagem de cimento, e sem ele a moagem não pode trabalhar. Foi efetuada uma análise que recaiu sobre o ventilador do filtro de mangas da Moagem de Cimento 7, devido ao caudal de ar deste ventilador estar a ser regulado através do registo de entrada de ar, com conseqüente consumo de energia eléctrica, superior ao que teria, se o comando do ventilador fosse efectuado através de um VEV, com regimes de funcionamento de acordo com as necessidades. Assim, procedeu-se à medição da potência eléctrica consumida pelo ventilador do filtro durante um dia (das 12.00h às 12.00h do dia seguinte).



**Gráfico 3.10 – Potência elétrica consumida pelo motor do ventilador do filtro de mangas das moagem de cimento 7**

Em relação ao regime de funcionamento do registo de entrada de ar no ventilador, constatou-se que nas 24h em que foi realizada a análise, o ventilador esteve em funcionamento 19 horas, nas quais o registo esteve 1 hora com 90% de abertura, 14 horas com 80% e 4 horas com 70%.

**Quadro 3.7 – Regime de funcionamento do registo de ar do ventilador**

| Flow (%) | Time (h) |
|----------|----------|
| 100      | 0        |
| 90       | 1        |
| 80       | 14       |
| 70       | 4        |
| 60       | 0        |
| 50       | 0        |
| 40       | 0        |
| 30       | 0        |
| 20       | 0        |
| 10       | 0        |

Depois de instalado o VEV efetuaram-se medições necessárias para se determinar a redução do consumo de energia.

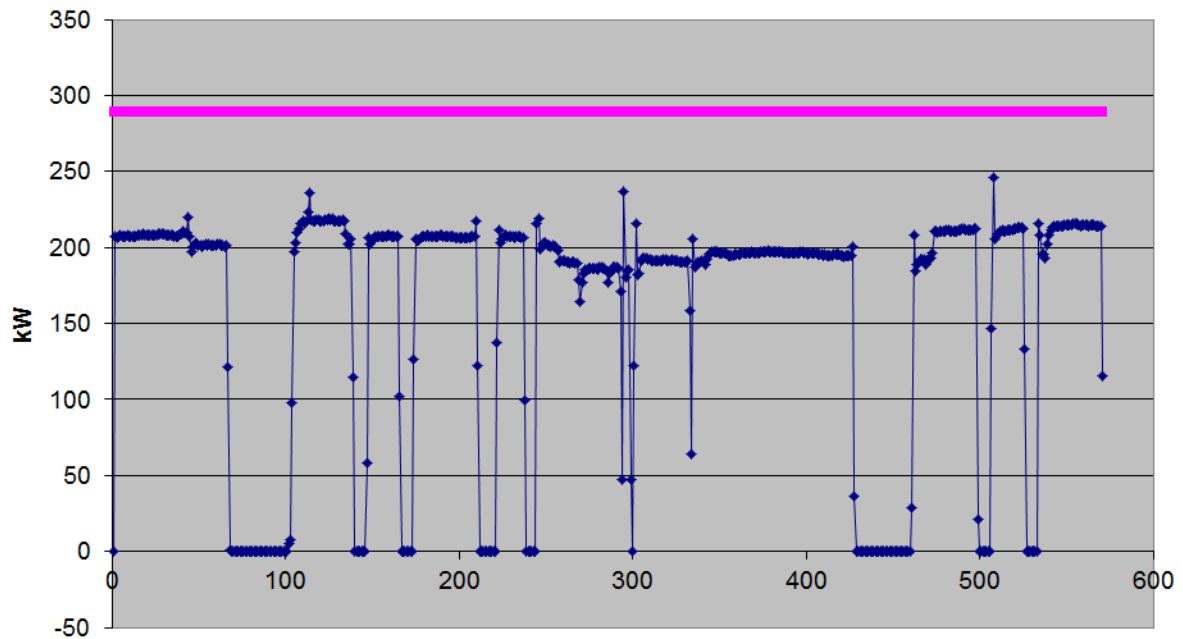


Gráfico 3.11 – Potência elétrica consumida após instalação de VEV

Através da medição efetuada concluiu-se que, tendo o motor de uma potência nominal de 290 kW, a potência média consumida foi de 202 kW, representando uma poupança de 30,34%, e uma redução da corrente consumida de 41,49%.



Figura 3.4 – Variador de velocidade e motor do ventilador do filtro de mangas da moagem de cimento 7

No caso prático do Ventilador de Transporte de Ar Quente da Moagem de Carvão 2, a metodologia aplicada foi matemática. Originalmente o motor rodava à sua velocidade nominal (1470 r.p.m.), sendo o caudal de ar quente controlado através de um registo (regulação média de abertura 11%). Por razões de segurança, o registo não pode ser retirado, sendo colocado a 100% de abertura quando o ventilador se encontra em funcionamento.

Após aplicação do VEV o caudal passou a ser controlado através da velocidade do motor, sendo a velocidade média para o mesmo caudal de 200 r.p.m..



Figura 3.5 – Variador de velocidade e motor do ventilador de transporte de ar quente da moagem de carvão 2

Nesta aplicação, por razões de exigência do processo, o caudal de ar quente a transportar será fixo e igual à situação anterior em que existia o registo. Assim sendo, o binário motor vai ser constante, logo a potência necessária será dada pela expressão:

$$P = B * \omega \quad (1)$$

Sendo:

P – Potência consumida

B – Binário máximo

$\omega$  – Velocidade angular

Como:

$$\omega = 2 * \pi * n \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), fica:

$$P = B * 2 * \pi * n$$

Fazendo a relação entre a potência consumida sem VEV e com VEV, teremos:

$$Ps/VEV = [(2 * \pi * ns/VEV) / (2 * \pi * nc/VEV)] Pc/VEV$$

Resultando:

$$Pc/VEV = [(nc/VEV) / (ns/VEV)] * Ps/VEV$$

A velocidade sem VEV era de 1475 rpm, e com VEV é de 200 rpm, daqui resulta uma poupança de energia de 86,44%.

Foram implementados para além dos dois casos referidos, vários outros VEV, nomeadamente nos ventiladores do sistema de ventilação dos arrefecedores.

- **Ar comprimido**

O ar comprimido é a segunda forma de energia mais utilizada na indústria transformadora, sendo a mais cara de todas e normalmente a mais deficientemente tratada (Novais, 1995).

Na empresa existe um grande consumo de ar comprimido, principalmente devido ao elevado número de filtros de mangas para despoejamento, e também devido ao elevado e crescente número de “canhões de ar” na torre de ciclones utilizados para soltar as crostas de farinha. As fugas são, também, um factor determinante no consumo elevado de ar comprimido, sendo efectuadas inspeções regulares para a sua detecção, apesar da dificuldade de eliminação na sua totalidade, devido à dimensão das instalações e à acessibilidade a alguns ramais, podendo existir algumas fugas ainda que reduzidas.

Se nos “canhões de ar” não é possível fazer poupanças, pois fazem parte do processo, nos filtros de mangas reside um grande potencial no que diz respeito à redução do consumo desta fonte de energia.



**Figura 3.6 – Filtro de mangas**

A limpeza das mangas dos filtros é controlada através de um programador em que é definido o tempo de duração do pulso de batimento e o intervalo entre esses batimentos. Os programadores dos filtros de mangas eram programados de forma um pouco grosseira, através de potenciômetros, sendo efectuada a limpeza sempre que o ventilador do referido filtro se encontrasse em funcionamento. De forma a reduzir o consumo de ar comprimido, os referidos programadores foram substituídos progressivamente, por programadores digitais, que efectuem a medição do diferencial de pressão ( $\Delta p$ ) entre a câmara de ar limpo e a câmara com partículas, efectuando-se a limpeza das mangas apenas dentro do intervalo de  $\Delta p$  pretendido.



**Figura 3.7 – Programadores dos Filtros de mangas com medição de  $\Delta p$**

Veio a verificar-se uma redução significativa no consumo de ar comprimido na maioria dos filtros de mangas, visto que através do novo programador os ciclos de limpeza são efectuados

apenas quando é necessário, sendo controlados pelo nível de sujidade das mangas, e não pelo facto do ventilador estar, ou não, em funcionamento. Pode concluir-se facilmente que estava a ser efectuada uma limpeza excessiva das mangas, reduzindo o tempo de vida destas, e simultaneamente consumindo desnecessariamente ar comprimido.

Os programadores mais avançados estão instalados nos filtros de mangas de maiores dimensões e nos que foram sendo instalados depois de 2004, encontrando-se cerca de 40% dos filtros com os programadores analógicos, ainda que estes sejam os de menores dimensões e com regimes de funcionamento intermitentes.

- **Iluminação**

A iluminação da empresa foi sempre maioritariamente composta por luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares, principalmente nas áreas fabris interiores, representando cerca de 50-60% da potência instalada. A restante potência era representada por luminárias com lâmpadas de vapor de sódio na iluminação dos arruamentos fabris e por luminárias com lâmpadas de vapor de mercúrio, maioritariamente no interior de edifícios com altura elevada, onde as lâmpadas fluorescentes tubulares não são aplicáveis.

A substituição dos balastos ferromagnéticos por electrónicos começou a ser efectuada progressivamente, a partir de 2005. Numa primeira fase eram substituídos apenas em caso de avaria nas luminárias. Cerca de 2 anos depois foram substituídos em todas as luminárias, em alguns circuitos específicos, tais como o edifício administrativo que apresenta uma potência instalada de cerca de 26 kW.

No caso de necessidade de substituição de uma luminária com lâmpadas fluorescentes tubulares T8, a luminária instalada passou a ser do mesmo tipo, mas com lâmpadas T5. Ainda assim, actualmente, o número de luminárias com lâmpadas T5 não é significativo, representando cerca de 2-3% de toda a potência instalada, apesar das ampliações e modificações das instalações fabris terem este tipo de luminária aplicada.

Nos locais de trabalho permanente, como as oficinas de manutenção, e no armazem central, estavam instaladas cerca de 130 lâmpadas de vapor de mercúrio de 250W, que foram substituídas por lâmpadas de iodetos metálicos da mesma potência. Outros locais onde as lâmpadas de vapor de mercúrio têm uma função menos importante, como em locais de passagem, ou com uma necessidade de elaboração de trabalhos nessa zona muito reduzida, estas foram substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas. Foram aplicadas lâmpadas

compactas fluorescentes de 21W em substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio de 80 e 150W, e lâmpadas compactas fluorescentes de 75W em substituição das de 250W de potência.

Numa auditoria realizada no início do ano 2013 foi elaborada uma caracterização energética dos sistemas de iluminação onde se concluiu que o número de luminárias instaladas corresponde a 5.724 lâmpadas, perfazendo um total de 468,4 kW de potência instalada.

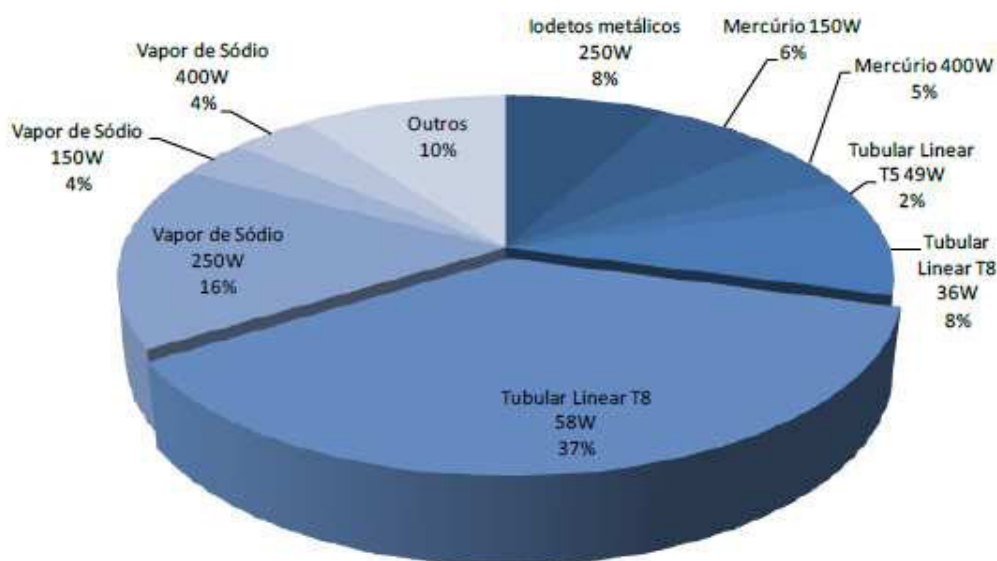
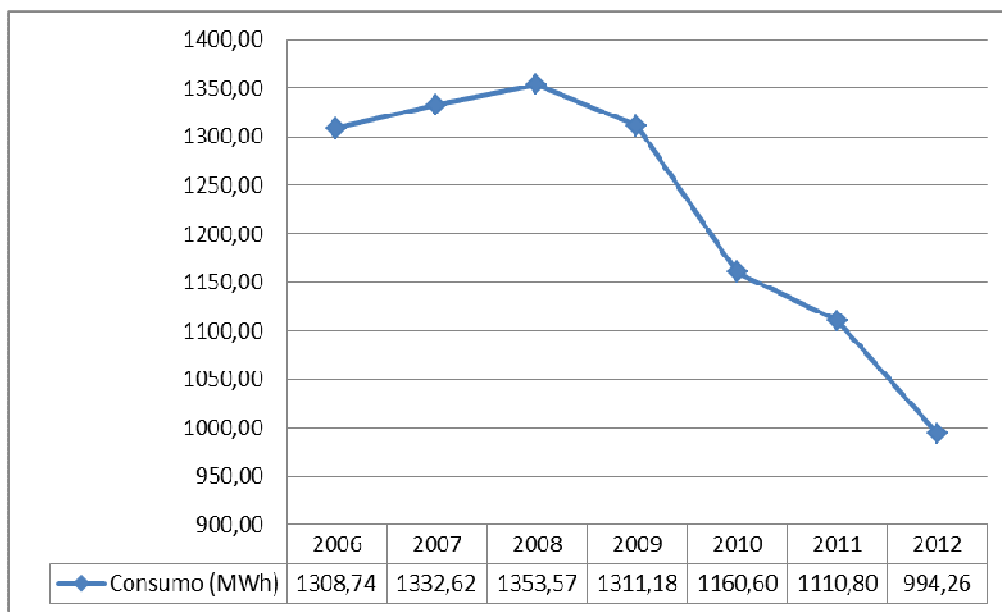


Gráfico 3.12 – Representação da iluminação total instalada

Existem contadores de energia dedicados ao controlo do consumo da iluminação em alguns sectores da empresa, mas o consumo total não é contabilizado, pois alguns outros sectores apenas têm contadores de energia gerais. Ainda assim para análise da possível redução do consumo de energia eléctrica por parte da iluminação, faz-se uma análise somando a energia de todos os contadores dedicados a esta parte, dando uma perspectiva de toda a instalação. Foram considerados os contadores que dizem respeito a áreas que não sofreram ampliações, ou modificações significativas, e ao mesmo tempo os que são os maiores contribuidores para os valores de consumo totais. Para a análise foram contemplados os contadores da britagem, das moagens de cru, dos arrefecedores, das moagens de cimento e da embalagem.



**Gráfico 3.13 – Representação do consumo da iluminação**

Pode verificar-se que no ano de 2008 foi obtido o pico em termos de consumo, atingindo cerca de 1,35 GWh, tendo vindo a reduzir esse valor progressivamente até 2012. Embora uma parte da iluminação esteja sempre ligada, a iluminação exterior é comandada tanto por interruptor crepuscular como por relógio, o que provoca uma variação significativa dos valores em anos com menos sol. Também outro fator a ter em conta é a manutenção das luminárias e respetivos circuitos, pois poderão estar circuitos e luminarias fora de serviço por grandes períodos de tempo, algo que se tem observado a partir de 2010 com a diminuição da mão de obra disponível. Ainda assim, a contribuição na redução do consumo de energia elétrica devido á substituição do tipo de luminárias e lâmpadas terá um impacto significativo nos valores obtidos em 2012 com menos de 1 GWh.

- **Serviço de Interruptibilidade**

O Serviço de Interruptibilidade nasce da necessidade de encontrar alternativas à construção e à exploração de novos centros produtores de energia recorrendo a medidas de eficiência e gestão da procura. A disponibilidade de determinados consumidores para, mediante remuneração, reduzir voluntariamente o seu consumo de energia eléctrica em resposta a uma ordem de redução de potência dada pelo operador de rede de transporte permite dar uma resposta rápida e eficiente a eventuais situações de emergência, além de flexibilizar a operação do sistema e contribuir para a segurança de abastecimento.

Tendo a Secil celebrado o contracto de adesão ao serviço de interruptibilidade ficou com a obrigatoriedade de reduzir o seu consumo de electricidade para um valor inferior ou igual ao valor da potência residual, em resposta a uma ordem de redução de potência dada pelo operador da rede, que neste caso é a Rede Eléctrica Nacional (REN).

Na fábrica de Maceira-Liz, para responder operacionalmente a este pedido de redução de potência dada pela REN, foi necessária a instalação eléctrica de um sistema de deslastre de potência, interligado directamente aos disjuntores de MT existentes na Subestação e nos vários Postos de Transformação.

O serviço de interruptibilidade compreende diferentes tipos de redução de potência, estabelecidos de acordo com o tempo mínimo de pré-aviso de solicitação do serviço e com a duração máxima de cada período de redução (ERSE, 2010).

**Quadro 3.8 – Tipos de redução de potência**

| <b>Tipo</b> | <b>Pré-aviso mínimo</b> | <b>N.º máximo de períodos por ordem</b> | <b>Duração máxima por período</b> | <b>Duração total máxima</b> | <b>Máximo valor de potência residual</b> |
|-------------|-------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| <b>1</b>    | 2 Horas                 | 3                                       | 4 Horas                           | 12 Horas                    | 1 MW                                     |
| <b>2</b>    | 2 Horas                 | 2                                       | 4 Horas                           | 8 Horas                     | 1 MW                                     |
| <b>3</b>    | 1 Hora                  | 1                                       | 3 Horas                           | 3 Horas                     | 1 MW                                     |
| <b>4</b>    | 5 Minutos               | 1                                       | 2 Horas                           | 2 Horas                     | 1 MW                                     |
| <b>5</b>    | 0 Minutos               | 1                                       | 1 Hora                            | 1 Hora                      | 1 MW                                     |

Sendo que:

- Tipo, representa as tipologias de redução de potência.
- Pré-aviso mínimo, representa o tempo mínimo necessário entre o instante de emissão da ordem de redução de potência e o início do primeiro período de aplicação.
- Cada tipo de redução caracteriza-se por um número máximo de períodos por ordem e duração máxima de cada período.
- Duração total máxima, é a soma da duração máxima de todos os períodos que compõem a ordem de redução de potência.
- Máximo valor de potência residual é o valor para o qual tem de reduzir a potência de consumo.

O número máximo de horas de utilização do serviço de interruptibilidade, dada pela soma da duração de todos os períodos em que se solicite a redução de potência é o seguinte:

- 120 Horas por ano para o conjunto de tipos de redução 1 e 2;
- 120 Horas por ano para o conjunto de tipos de redução 3, 4 e 5.

Por cada prestador de serviço o número máximo de ordens de redução de potência é o seguinte:

- 5 Ordens por semana;
- 1 Ordem por dia.

O operador da rede de transporte (REN) envia, através do Equipamento de Medição, Comunicação e Controlo (EMCC), uma ordem de redução de potência aos prestadores do serviço de interruptibilidade e em resposta a essa ordem os prestadores estão obrigados a reduzir a sua potência de consumo para um valor inferior ou igual ao da potencial residual contratada. Nessa ordem está contida a seguinte informação:

- O tipo de redução
- O número de períodos em que se divide a redução
- O início de cada período de redução
- O instante da finalização de cada período de redução

A verificação da disponibilidade para reduzir potência, a comunicação das ordens de redução de potência, a verificação do seu cumprimento e o processo de selecção dos consumidores para deslastre nas situações de accionamento de interruptibilidade efectua-se através do EMCC.



Figura 3.8 – Equipamento de Medição, Comunicação e Controlo (EMCC)

O Equipamento de Medida, Comunicação e Controlo (EMCC) é um equipamento integrante do Sistema de Comunicação, Execução e Controlo da Interruptibilidade (SCECI) que gere o serviço de interruptibilidade a nível nacional.

Para que uma ordem de interruptibilidade seja activada no EMCC é necessário que o sistema de gestão da REN envie uma ordem de pré-aviso, na qual estão descritos os parâmetros correspondentes à interruptibilidade.

Ao receber esta mensagem o EMCC envia uma mensagem ao sistema de gestão reconhecendo o pré-aviso.

A partir deste momento, o EMCC está em condições de executar a ordem de interruptibilidade pedida, e quando chegar o momento este actuará uma saída digital que fará desligar os disjuntores necessários ao cumprimento da ordem de interruptibilidade.

Durante a execução de uma ordem de redução de potência o EMCC calcula e regista a potência medida consumida durante períodos de 5 minutos. No caso em que a potência consumida seja superior ao limite contratualizado com a REN o EMCC emite um alarme.

Os fornecedores do serviço deverão estar dotados de um ou mais relés de deslastre sensíveis ao abaixamento da frequência, de forma a deslastrar parte do seu consumo antes dos outros consumidores.

O fornecedor deve garantir que a actuação desses relés não provoca redução de potência de qualquer central de cogeração eventualmente ligada à mesma instalação. Compete ainda ao fornecedor do serviço garantir que a actuação desses relés não interrompa a potência residual contratada.

O relé de deslastre deverá apresentar as seguintes entradas por circuito:

- Tensão alternada do(s) circuito(s) a deslastrar.
- Parâmetros de regulação do deslastre frequencimétrico.
- Alimentação do relé de deslastre frequencimétrico.
- Polaridade da abertura do disjuntor.
- Estado da aparelhagem do circuito de corte.

O relé de deslastre deverá apresentar as seguintes saídas:

- Sinalização impulsional, com duração de 5 minutos, na sequência da actuação do deslastre frequencimétrico. Sinalização destinada ao EMCC.
- Sinalização da ordem de abertura do disjuntor do(s) circuito(s) a deslastrar.
- Ordem de abertura do disjuntor.
- Defeito do relé de deslastre frequencimétrico.

O relé de deslastre por frequência dará ordem de abertura dos circuitos seleccionados, caso a frequência da tensão desça abaixo do limite estabelecido pelo escalão de deslastre seleccionado, durante um tempo superior ao definido.

- Parametriação do relé de deslastre frequencimétrico:
  - Frequência nominal ( $f_n$ ) – 50 Hz
  - Sobretensão permanente admissível – 120%  $U_n$
  - Bloqueio por tensão baixa ( $U_{block}$ ) – 30%  $U_n$
  - Actuação por mínimo de frequência – 49,20 Hz
  - Precisão de actuação <0,05 Hz
  - Histerese na desactuação  $\leq 0,05$  Hz
  - Temporização – 0 s
  - Precisão de actuação <30 ms
  - Tempo mínimo de operação  $\leq 100$  ms

Sempre que a frequência da rede dos 60 kV descer de 49,2 Hz ou existir uma execução de uma ordem de interruptibilidade a saída digital 2 ou 3, respectivamente, do relé de deslastragem de frequência instalado na subestação é actuada, e posteriormente os relés de deslastragem existentes que darão ordem para desligar os vários disjuntores.

O serviço de interruptibilidade desde que foi implementado na empresa ainda não foi accionado, apesar de estar previsto um teste aleatório anual, por parte da EDP, a 10% do total dos clientes que aderiram a este sistema.

### **3.5.3. Resultados específicos de redução de consumo de energia**

No ano de 2012 foi efetuada uma análise ao resultado da implementação do Plano de Racionalização dos Consumos Energéticos na fábrica de Maceira-Liz delineado para 2005-2010. Foi também caracterizado o desempenho energético entre 2005 e 2011, com a finalidade de poder possibilitar a identificação de áreas de melhoria para a empresa em particular.

As instalações da fábrica de Maceira-Liz ficaram isentas do cumprimento dos Planos de Racionalização dos Consumos Energéticos realizados em 2006, por estarem abrangidas pelo PNALE - Plano Nacional de Alocações de Licenças de Emissão, mas ainda assim foi verificada a sua conformidade. A empresa fica comprometida a reduzir as suas emissões de gases de efeito de estufa, contribuindo para o compromisso que Portugal assumiu perante a União Europeia de não ultrapassar em mais de 27% os níveis de emissões registados em 1990.

Dado que a legislação relativa a esta matéria foi alterada em 2008, apresenta-se também qual a evolução dos indicadores de intensidade energética e intensidade carbónica previsto no Decreto-lei n.º 71/2008.

O Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril de 2008, regula o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) que veio substituir o Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia. O SGCIE tem como objectivo promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia (CIE).

Para o efeito, prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, ainda, a elaboração e a respectiva execução de Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn), estabelecendo Acordos de Racionalização (ARCE) desses consumos com a Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) que, contemplem objectivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento na obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram as instalações CIE).

O SGCIE aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumo anual igual ou superior a 500 tep (tonelada equivalente de petróleo). As excepções à aplicação do SGCIE são:

- Instalações de cogeração juridicamente autónomas;
- Empresas de transportes e empresas com frotas próprias consumidoras intensivas de energia;
- Edifícios abrangidos pelos Decreto-Lei n.º 78/2006, 79/2006 e 78/2006, excepto quando integrados na área de uma instalação industrial consumidora intensiva;
- Instalações CIE sujeitas ao PNALE (Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de CO<sub>2</sub>).

De acordo com o artigo 7.º do Decreto-lei n.º 71/2008, relativo aos Planos de Racionalização do Consumo de Energia, têm de ser estabelecidas metas relativas à intensidade energética e à intensidade carbónica, que devem apresentar, no mínimo, uma melhoria de 6% em seis anos. Os indicadores alvo das metas de redução são os seguintes:

- Intensidade energética:
  - Quociente entre o consumo total de energia e o valor acrescentado bruto (VAB) das actividades empresariais directamente ligadas a essas instalações industriais;
  - Quociente entre o consumo total de energia e o volume de produção. (considerando apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis)
- Intensidade carbónica:
  - Quociente entre o valor das emissões de gases com efeito de estufa resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo e o respectivo consumo total de energia. (para o efeito, as emissões associadas aos resíduos endógenos não entram para o cálculo (informação da DGEG)).

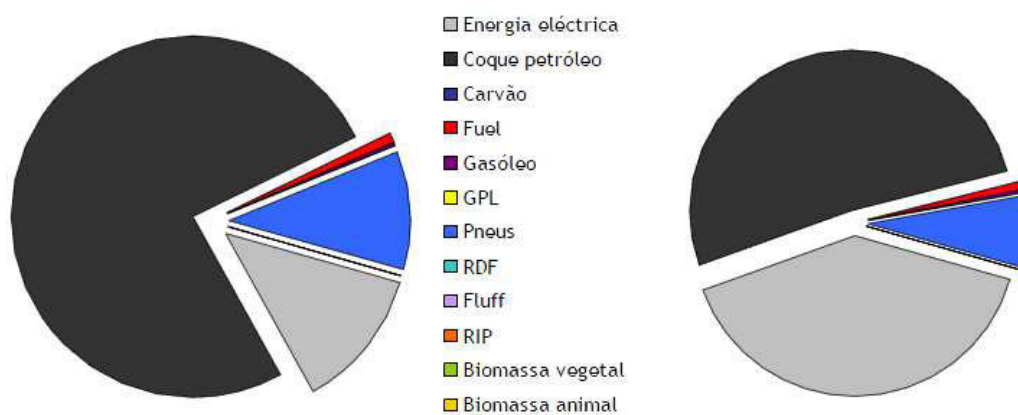


Gráfico 3.14 - Consumo de energia em GJ (à esquerda) e de energia primária em tep (à direita) no ano de 2005

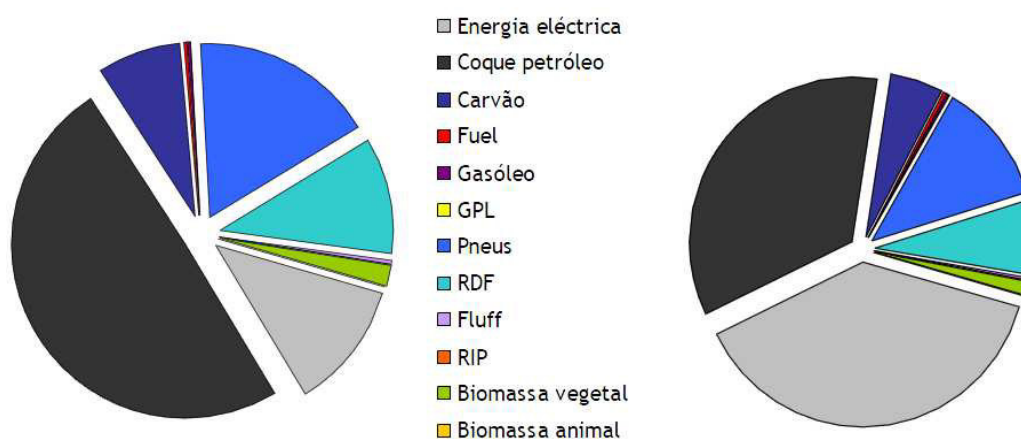


Gráfico 3.15 - Consumo de energia em GJ (à esquerda) e de energia primária em tep (à direita) no ano de 2010

Como se pode verificar pela análise dos gráficos anteriores, em 2005 os combustíveis fósseis (coque de petróleo e carvão) representavam a principal forma de energia primária, seguidos da energia eléctrica.

Contudo, o seu consumo diminuiu de 52% para 40%, que se justifica com o aumento gradual do consumo de combustíveis alternativos.

Desde 1986 que a instalação valoriza energeticamente pneus usados. Porém, em 2007 alargou o leque de resíduos a valorizar, tendo vindo, por essa razão, a aumentar a taxa de substituição de combustíveis alternativos. Assim, a representatividade destes combustíveis aumentou consideravelmente, tendo passado de cerca de 7% para cerca de 21%.

A energia eléctrica ocupa a segunda maior parcela de consumo de energia primária, não tendo sofrido grandes oscilações no período considerado.

Relativamente ao fuel, GPL e gasóleo estes têm muito pouca representatividade no consumo global de energia da instalação.

Para a instalação em questão existem dois valores de referência K associados à produção de clínquer e à produção de cimento. Para cada um dos produtos foi aferida a energia total consumida e calculados os consumos específicos correspondentes.

**Quadro 3.9 – Evolução do consumo específico de energia (CEE) por tonelada de Clínquer, no período 2005-2010**

|            |        | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Energia    | tep    | 74.794 | 77.651 | 80.935 | 75.520 | 69.360 | 71.585 |
| CEE        | kgep/t | 86,6   | 88,4   | 88,9   | 86,0   | 86,8   | 91,7   |
| K clínquer | kgep/t | 92,0   |        |        |        |        |        |

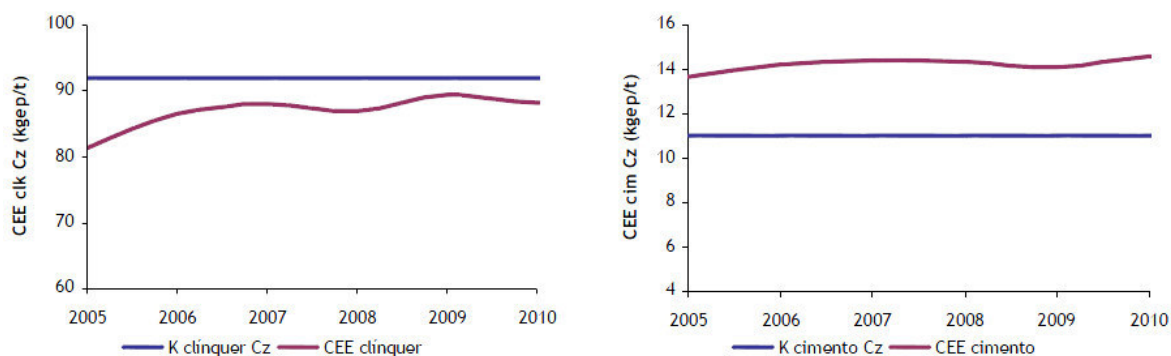
Embora o consumo específico de energia do clínquer tenha aumentado ao longo do período considerado, este manteve-se sempre abaixo do valor de “K” estabelecido pelo RGCE. O aumento do CEE está relacionado com o aumento do consumo de combustíveis alternativos, os quais apesar de conduzirem a este aumento do consumo térmico específico, como contrapartida trazem consigo vantagens tanto ao nível da redução das emissões específicas de CO<sub>2</sub>, como pela diminuição do consumo de combustíveis fósseis.

**Quadro 3.10 – Evolução do consumo específico de energia (CEE) por tonelada de Cimento, no período 2005-2010**

|           |        | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Energia   | tep    | 17.018 | 16.863 | 16.732 | 17.471 | 15.082 | 15.134 |
| CEE       | kgep/t | 12,7   | 13,4   | 12,8   | 14,2   | 14,9   | 14,8   |
| K cimento | kgep/t | 11,0   |        |        |        |        |        |

O consumo específico de energia do cimento, ao contrário do clínquer, manteve-se sempre acima do valor de referência. Contudo, é de salientar que o CEE sofreu algum agravamento no período considerado, em função da evolução dos principais factores determinantes que evoluíram em sentidos opostos. A incorporação de clínquer, tal como previsto no PRCE, foi

reduzida, tendo-se verificado uma diminuição de 76,6% para 72,2%. Em contrapartida, a percentagem de cimentos de alta resistência aumentou (Tipos 42,5 e 52,5) de 45,4% para 56,8%.



**Gráfico 3.16 - Evolução do consumo específico de energia do clínquer (à esquerda) e do cimento (à direita) no período 2005-2010 em comparação com o valor K**

Os consumos específicos de energia para o clínquer e para o cimento, no ano de referência, foram de 86,6 e 12,7 kgep/t, respetivamente. No caso do clínquer, o valor verificado em 2005 é inferior ao valor de referência definido (92 kgep/t), pelo que, para o cálculo da meta de redução, se assumiu 90% do consumo específico do produto no ano de 2005 (77,9 kgep/t). No caso do cimento, como o valor verificado é superior ao valor de referência, o Kc assume o valor de 11 kgep/t.

Conforme se pode constatar pelo quadro 3.11, as metas de redução definidas para os dois produtos não foram alcançadas, tendo os consumos específicos de energia para o clínquer e para o cimento, no ano de 2010, atingido 91,7 e 14,8 kgep/t, representando um desvio de 11,5% e 24,80%, respetivamente.

**Quadro 3.11 – Metas previstas de redução do consumo energético**

| PRODUTO  | ANO DE REFERÊNCIA         |                             |   | K <sub>RGCE</sub> | K <sub>C</sub> | M = (C <sub>0</sub> - K <sub>C</sub> )/2 | C <sub>5</sub> = C <sub>0</sub> - M | C <sub>5</sub> real | Desvio |
|----------|---------------------------|-----------------------------|---|-------------------|----------------|--|-------------------------------------|---------------------|--------|
|          | P <sub>0</sub><br>(t/ano) | E <sub>0</sub><br>(tep/ano) | C <sub>0</sub> = K <sub>C</sub> /P <sub>0</sub><br>(kgep/t) |                   |                |  |                                     |                     |        |
| Clínquer | 863 618                   | 74794                       | 86.6  | 92.0              | 77.9           | 4.3                                      | 82.3                                | 91,7                | 11,50% |
| Cimento  | 1 335 746                 | 17018                       | 12.7  | 11.0              | 11.0           | 0.9                                      | 11.9                                | 14,8                | 24,80% |

No caso das instalações da fábrica de Maceira-Liz, foi considerado como volume de produção o Cimento Equivalente (CimEq), dado que neste Regulamento não são separados os consumos relativos ao clínquer dos relativos ao cimento. O consumo total de energia por tonelada de cimento equivalente manteve-se constante entre 2005 e 2008, tendo diminuído entre 2008 e 2011 em resultado do aumento do consumo de combustíveis alternativos, que na sua maioria são de origem nacional.

No global, o indicador registou uma redução na ordem dos 7%, superando os 6% recomendados pelo Decreto-lei n.º 71/2008.

**Quadro 3.12 – Evolução do consumo total de energia por tonelada de Cimento Equivalente, no período 2005-2011**

|                              |         | 2005      | 2006      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2010    |
|------------------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Consumo total de energia (E) | tep     | 119.543   | 114.193   | 116.809   | 108.585   | 89.799    | 91.112    | 82.599  |
| Volume de produção (P)       | t CimEq | 1.335.611 | 1.255.438 | 1.308.801 | 1.233.046 | 1.134.367 | 1.077.804 | 993.355 |
| E/P                          | tep/t   | 0,090     | 0,091     | 0,089     | 0,088     | 0,079     | 0,085     | 0,083   |

Relativamente às emissões específicas de CO<sub>2</sub> por unidade de energia, o Decreto-lei n.º 71/2008 estabelece que devem ser mantidos, no mínimo, os valores históricos de intensidade carbónica. Como se pode verificar este objectivo foi largamente superado, tendo-se registado uma redução de 16% face ao valor de 2005.

**Quadro 3.13 – Evolução das emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada equivalente de petróleo, no período 2005-2011**

|                          |                       | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2010    |
|--------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Emissões CO <sub>2</sub> | tCO <sub>2</sub>      | 397.423 | 377.628 | 384.811 | 357.878 | 282.213 | 271.415 | 231.603 |
| Volume de produção (P)   | tCO <sub>2</sub> /tep | 3,3     | 3,3     | 3,3     | 3,3     | 3,1     | 3,0     | 2,8     |

Desde 2008, a fábrica de Maceira tem assistido a uma diminuição na produção de clínquer e cimento.

Em 2011, a produção de clínquer foi de 730.918 toneladas, 6% a menos que em 2010. Para o cimento, em 2011, a produção foi de 965.740 toneladas, o que corresponde a uma redução de 5%, quando comparado com 2010.

**Quadro 3.14 – Produção de Clínquer e Cimento 2005-2011**

|                            | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2011   |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Produção de Clínquer (ton) | 863618  | 878686  | 910000  | 878275  | 799021  | 780352  | 730918 |
| Clínquer vendido (ton)     | 0       | 0       | 0       | 0       | 89386   | 36541   | 29185  |
| Produção de Cimento (ton)  | 1335746 | 1254835 | 1309743 | 1232455 | 1010244 | 1021278 | 968242 |
| Incorporação Clínquer (%)  | 76,6    | 78,8    | 78,8    | 74,9    | 72,4    | 72,2    | 72,8   |

A tendência de diminuição da produção de clínquer de cimento não foi seguida pela incorporação no clínquer de cimento. Este parâmetro sofreu uma melhoria de 76,6% em 2005 para 72,8% em 2011.

O consumo de energia da empresa foi de 3.028.657 GJ em 2011 (87.317 tep), dos quais 86,8% representaram energia térmica e 13,2% energia elétrica. A diminuição do consumo global de energia é observada desde 2008, principalmente devido à diminuição da produção de clínquer e cimento.

Cerca de 99,9% da energia térmica é consumida no processo de cozedura, tendo sofrido algumas flutuações ao longo dos anos, apresentando uma diferença global de 1,8% entre 2005 e 2011.

**Quadro 3.15 – Consumo de Energia Térmica (MJ/ton clínquer) 2005-2011**

| Tipo de energia           | Consumo de Energia Térmica (MJ/ton clínquer) |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|--|------|------|------|------|------|------|
|                           | 2005   | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Petcoke                   | 3172   | 3344 | 3466 | 3254 | 3040 | 2218 | 2194 |
| Carvão                    | 0  | 0    | 0    | 0    | 0    | 344  | 0    |
| Fuel                      | 34   | 24   | 14   | 20   | 10   | 20   | 13   |
| GPL                       | 3  | 3    | 2    | 2    | 2    | 2    | 3    |
| Combustíveis Alternativos | 439  | 340  | 286  | 336  | 587  | 1350 | 1375 |
| TOTAL                     | 3648   | 3710 | 3769 | 3611 | 3639 | 3934 | 3584 |

Ao nível do consumo de energia térmica na produção de cimento apenas é utilizado o GPL, no processo de retratilização da manga plástica que é utilizada na elaboração dos pacotões de cimento. Embora o seu consumo se tenha mantido estável nos últimos anos, é de considerar o facto de em 2011 o seu consumo tenha aumentado, resultado da maior procura deste tipo de produto.

**Quadro 3.16 – Consumo de Energia Térmica (MJ/ton cimento) 2005-2011**

| Tipo de energia | Consumo de Energia Térmica (MJ/ton cimento) |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|
|                 | 2005  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| GPL             | 1   | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    |

No que diz respeito ao consumo de energia elétrica, os processos de moagem (moagem de cru e cimento) consomem cerca de 62% e a área da cozedura cerca de 27% da energia elétrica total. Comparativamente, entre 2005 e 2011, o consumo de energia elétrica no clínquer manteve-se estabilizado, com pequenas oscilações ao longo dos anos. É observada uma diminuição significativa (25,6%) na eficiência do consumo de energia elétrica no cimento, tendo passado de 2005 para 2011 de 43 KWh/ton cim para 54 KWh/ton cim, respetivamente.

**Quadro 3.17 – Consumo de Energia Elétrica (kWh/ton produto) 2005-2011**

| Tipo de energia | Consumo de Energia Elétrica (kWh/ton produto) |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|------|
|                 | 2005  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Clínquer        | 80  | 83   | 81   | 81   | 82   | 81   | 81   |
| Cimento         | 43  | 46   | 44   | 49   | 51   | 51   | 54   |



## ***4. Processo de aproveitamento energético de resíduos***

---

Ao longo da História existiu sempre uma tendência para o aumento do consumo dos recursos naturais, com consequências ambientais e potencial escassez de recursos, sendo muitos destes finitos e não renováveis. Foi-se privilegiando durante muito tempo a extracção de novos materiais em detrimento da sua reciclagem ou reutilização, sendo a ideia dominante de que os sistemas naturais existiam para servir o homem e que estes seriam ilimitados.

Nos nossos dias, a triagem dos resíduos, associado à pressão crescente por parte dos consumidores para que exista um aumento de materiais reciclados, e ao aumento do custo das matérias-primas naturais, favoreceu a que os produtos, subprodutos e resíduos, resultantes da actividade industrial fossem valorizados, podendo ser também eles, utilizados como matéria-prima para a indústria transformadora. Por outro lado, a globalização e o aumento das trocas no mercado comunitário, promoveu a livre circulação de resíduos, originando um verdadeiro mercado que permite a transacção e valorização dos seus diversos tipos. Com este mercado é possível a comercialização e optimização de custos por via de acesso garantido e privilegiado a um mercado de alta liquidez. Prova disto é a primeira plataforma electrónica integrada do Mercado Organizado de Resíduos em Portugal.

A gestão de resíduos em Portugal divide-se entre Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que são geridos na generalidade por sistemas municipais e multimunicipais, e Resíduos Não Urbanos (RNU), geridos por norma por um conjunto de empresas devidamente licenciadas para o efeito, podendo ser instalações de armazenamento temporário ou estações de eliminação/valorização de resíduos, ou ainda, por operadores de resíduos, com instalações devidamente licenciadas que, apesar de não possuírem a gestão de resíduos como actividade principal, incorporam resíduos no seu processo industrial, onde se enquadra o nosso caso de

estudo. São estes resíduos e subprodutos que, em maior ou menor escala, atendendo à sua constituição, serão valorizados energeticamente como combustíveis alternativos.

## **4.1. Enquadramento legal**

A política ambiental nem sempre foi um tema com o relevo e importância que tem nos nossos dias, sendo apenas destacada a vertente económica, no início do processo de integração europeia. Nos tratados iniciais das cimeiras da Comunidade Europeia (Tratado de Paris e Tratado de Roma) não se encontram referências quanto à preocupação pela protecção da natureza. Apenas em 1972 na Cimeira de Paris foi salientada a necessidade de estabelecer políticas relacionadas com a protecção da natureza, surgindo o 1º Programa de Acção em matéria de Ambiente (PAA) da Comunidade Europeia (1973-1976). Nos sucessivos programas até ao mais recente (6º PAA), é bem notória a evolução das políticas europeias sobre ambiente, fruto da consciencialização progressiva sobre os impactes ambientais associados às actividades humanas em geral, e da noção de que as soluções em matéria de gestão de resíduos tinham um alcance de curto prazo.

Quadro 4.1 – Evolução do enfoque das políticas europeias de gestão de resíduos (PNGR, 2011)

| Período             | PAA                           | Tipo de visão e enfoque  | Tipo de Instrumentos  | Alguns exemplos a nível nacional  |
|---------------------|-------------------------------|--|---|---|
| Anos 70             | Políticas anteriores e 1º PAA | <i>Business-as-usual</i><br><i>Vocacionada para os processos</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminação da poluição</li> <li>• Comando e controlo</li> <li>• Tecnologias de fim de linha</li> </ul>   | Legislativos  |   |
| Anos 80             | 2º e 3º PAAs                  | <i>Vocacionada para os processos</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologias de fim de linha</li> <li>• Controle da poluição</li> <li>• Introdução da importância da prevenção</li> </ul>   | Legislativos  | Lei de bases do ambiente  |
| Anos 90             | 4º e 5º PAAs                  | <i>Vocacionada para os produtos</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Princípios de hierarquia de gestão</li> <li>• Responsabilidade alargada do produtor</li> <li>• Introdução dos princípios de desenvolvimento sustentável</li> </ul>                            | Legislativos<br>Outros instrumentos (ex. económicos)            | Criação do Instituto dos Resíduos<br>DL 239/1997<br>SPV<br>PERSU I                    |
| Finais de 90        | 5º e 6º PAAs                  | <i>Vocacionada para os produtos e uso de recursos</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de recursos (saídas ligadas às entradas e vice versa)</li> <li>• Formalização do ambiente como política transversal</li> <li>• Política integrada de produto</li> </ul> | Legislativos<br>Económicos<br>Fiscais<br>Informação             | PESGRI<br>PNAPRI<br>PERH<br>ENDS 2015<br>DL 178/2006                                  |
| Princípios Séc. XXI | 6º PAA                        | <i>Maior enfoque nos sistemas</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de recursos</li> <li>• Maior enfoque na prevenção e estratégias de consumo mais sustentáveis</li> <li>• Sinergias entre diversos ciclos de vida</li> </ul>                                  | Maior integração e sinergias entre vários tipos de instrumentos | Programa de compras sustentáveis<br>Princípio da responsabilidade pela gestão<br>PNGR |

A gestão de resíduos em Portugal é regulamentada com um conjunto de legislação, recursos e meios desenvolvidos em conformidade com vários Planos Estratégicos, definidos a partir de finais da década de 90. Como exemplos mais relevantes contam-se o Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), o Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares (PERH) e o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI).

O quadro jurídico da gestão de resíduos foi definido pela primeira vez em Portugal pelo Decreto -Lei n.º 488/85, de 25 de Novembro, que seria revogado, 10 anos mais tarde, pelo Decreto-lei n.º 310/95, de 20 de Novembro, o qual transpôs as Directivas n.º 91/156/CEE, de 18 de Março, e n.º 91/689/CEE, de 12 de Dezembro. Em termos de planeamento, foi

elaborado o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, que estabelece o regime geral da gestão de resíduos em Portugal, transpondo assim a Directiva Quadro “Resíduos”. Este Decreto-Lei aconselha a elaboração do Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR), sendo esta uma medida de política e ordenamento do território para assegurar o cumprimento dos princípios de sustentabilidade, transversalidade, integração, equidade e participação em relação a este assunto. A formulação do referido Plano ficou delegado à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) enquanto Autoridade Nacional de Resíduos (ANR).



**Figura 4.1 – Níveis de planeamento estratégico no sector de gestão de resíduos (PNGR, 2011)**

Para cada área específica geradora de resíduos, o PNGR estabelecerá também regras orientadoras para os planos específicos de resíduos, que em conjunto, vão concretizar o referido plano. Estas áreas são a industrial, urbana, agrícola e hospitalar, sendo ainda elaborados planos municipais para os resíduos urbanos, intermunicipais e multimunicipais (REA, 2007).

**Quadro 4.2 – Plano de gestão de resíduos (REA, 2007)**

| Instrumento de planeamento                          | Fornecedor   | Estado        |
|---|--|---------------|
| Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR)         | DL nº178/2006, de 5 de Setembro - prevê o PNGR   | Em elaboração |
| Plano Estratégico dos Resíduos Industriais (PESGRI) | DL nº516/99, de 2 de Setembro - aprova o PESGRI 99; DL nº89/2002, de 2 de Abril; declaração de rectificação nº23 - A/2002, de 29 de Junho - revê o PESGRI 99, passando a designar-se PESGRI 2001 | Em vigor      |

| Instrumento de planeamento                                    | Fornecedor   | Estado  |
|---|--|---|
| Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais           |  | Em vigor  |
| Projecto PRERESI - Prevenção dos Resíduos industriais         |  | Concluído   |
| Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II) | Portaria nº 187/2007, de 12 de Setembro - aprova o PERSU II  | Em vigor  |
| Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares (PERH)            | Despacho Conjunto nº761/99, de 1 de Junho, do Ministério da Saúde e do Ambiente, publicado no D.R. Nº203 (II Série), de 31 de Agosto - aprova o PERH | Em revisão  |
| Plano Estratégico dos Resíduos Agrícolas (PERAGRI)            | DL nº178/2006, de 5 de Setembro - prevê o PNGR   | Em processo de consolidação (por via da elaboração do PNGR) |

**Quadro 4.3 – Principais documentos legislativos nacionais e comunitários relacionados com a gestão de resíduos (PNGR, 2011)**

| Tipo de legislação  | Assunto                               | Documento nacional principal   | Documento comunitário orientador |
|---------------------|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| Transversal         | Regime geral da gestão de resíduos    | Decreto-Lei n.º 178/2006   | Directiva 12/2006/CE             |
|                     | LER                                   | Portaria n.º 209/2004  | Decisão da Comissão 2000/532/CE  |
|                     | Mercado Organizado de Resíduos        | Decreto-Lei n.º 210/2009   |                                  |
|                     | Transporte interno                    | Portaria n.º 335/97  | -                                |
|                     | Movimento transfronteiriço            | Decreto-lei n.º 45/2008  | Regulamento 1013/2006            |
| Regional            | Gestão de Resíduos na R.A. dos Açores | Decreto Legislativo Regional n.º20/2007/A<br>Decreto Legislativo Regional n.º10/2008/A |                                  |
| Operações de gestão | Licenciamento                         | Portaria n.º 1023/2006   |                                  |
|                     | Aterros                               | Decreto-Lei n.º 183/2009   | Directiva 1999/31/CE             |
|                     | Incineração e co-incineração          | Decreto-Lei n.º 85/2005  | Directiva 2000/76/CE             |
|                     | CIRVER                                | Decreto-Lei n.º 3/2004   |                                  |

| Tipo de legislação                       | Assunto                      | Documento nacional principal   | Documento comunitário orientador        |
|--|------------------------------|--|---|
| Fluxos específicos e resíduos sectoriais | Veículos em Fim de Vida      | Decreto-Lei n.º 196/2003, alterado pelo 64/2008                                | Directiva 2000/53/CE                    |
|  | REEE                         | Decreto-Lei n.º 230/2004   | Directiva 2002/96/CE                    |
|  | Embalagens                   | Decreto-Lei n.º 366-A/97   | Directiva 94/62/CE                      |
|  | Óleos usados                 | Decreto-Lei n.º 153/2003   | Directiva 75/439/CEE                    |
|  | Pilhas e acumuladores        | Decreto-Lei n.º 6/2009   | Directiva 2006/66/CE                    |
|  | Óleos alimentares usados     | Decreto-lei n.º 267/2009 de 29 de Setembro                                     | -                                       |
|  | Pneus usados                 | Decreto-Lei n.º 111/2001, alterado pelo 43/2004                                | -                                       |
|  | RCD                          | Decreto-Lei n.º 46/2008  | -                                       |
|  | PCB's                        | Decreto-Lei n.º 277/99, de 23 de Julho e Decreto-Lei n.º 72/2007               | Directiva 96/59/CE                      |
|  | Agrícolas                    | Despacho n.º 25292/04;<br>Despacho n.º 10 977/2003;<br>Despacho n.º 25297/2002 |   |
|  | Hospitalares                 | Portaria n.º174/97   |   |
|  | Lamas                        | Decreto-Lei n.º276/2009, de 2 de Outubro                                       | Directiva 86/278/CE                     |
| Outras conexas                           | PCIP                         | Decreto-Lei n.º 173/2008   | Directiva 2008/1/CE                     |
|  | REACH                        |  | Regulamento (CE) n.º 1907/2006          |
|  | AIA                          | Decreto-Lei n.º 197/2005   | Directiva 97/11/CE                      |
|  | AAE                          | Decreto-Lei n.º 232/2007   | Directivas 2001/42/CE e 2003/35/CE      |
|  | Contra-ordenações ambientais | Lei n.º 50/2006 alterada pela Lei n.º 89/2009                                  | -                                       |
|  | Responsabilidade ambiental   | Decreto-Lei n.º 147/2008   | Directiva 2004/35/CE                    |
|  | Ecodesign                    |  | Directiva 3663/09, 13329/09 ADD 1 REV 1 |
|  | Fontes de energia renovável  | Decreto-Lei n.º 225/2007   | Directiva 2009/28/CE                    |
|  | Água                         | Lei n.º 58/2005  | Directiva 2000/60/CE                    |

Para além de todo o conjunto de legislação subjacente à temática dos resíduos, particularmente à sua valorização energética, e em especial nas cimenteiras, é de referir o enquadramento legislativo para o co-processamento existente na Fábrica de Maceira-Liz. Assim, a empresa dispõe de autorização para proceder à valorização de resíduos pela Licença de Exploração n.º 12/2009/DOGR, de 2 de Setembro de 2009 e 1º Averbamento à referida licença de 8 de Julho de 2010, cedida pela APA, ao abrigo de Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril. O comprovativo dos Valores Limite de Emissão (VLE) dos diversos poluentes foi ainda efectuado com os valores da Licença anterior (Licença de Exploração n.º 3/2007/INR, alterada pelo 1º Averbamento, de 2 de Julho de 2009), dada a proximidade do final do ano quando foi emitida a nova licença.

## 4.2. Combustíveis

Os custos de produção tal como a competitividade do mercado, leva cada vez mais a que as empresas tenham de inovar de modo a produzir com os menores custos possíveis. Os factores determinantes de competitividade da indústria cimenteira incluem a escolha de um combustível, a disponibilidade deste no mercado, a sua queima adequada nos fornos, o ser ambientalmente limpo e o custo da sua aquisição. A escolha da combinação mais económica de queima de combustível, torna-se assim, uma vantagem competitiva.

Os combustíveis são parte de uma matriz energética básica, que satisfaz as necessidades dos seres humanos, e estes satisfazem essas necessidades em proporções variáveis de acordo com a disponibilidade natural e com o actual estado da tecnologia e do conhecimento científico.

Apesar de poderem ser classificados de acordo com diferentes critérios, os combustíveis são substâncias que na presença de um oxidante e de uma fonte de ignição, dão início a uma reacção química de oxidação que é exotérmica, autossustentável e muito rápida.

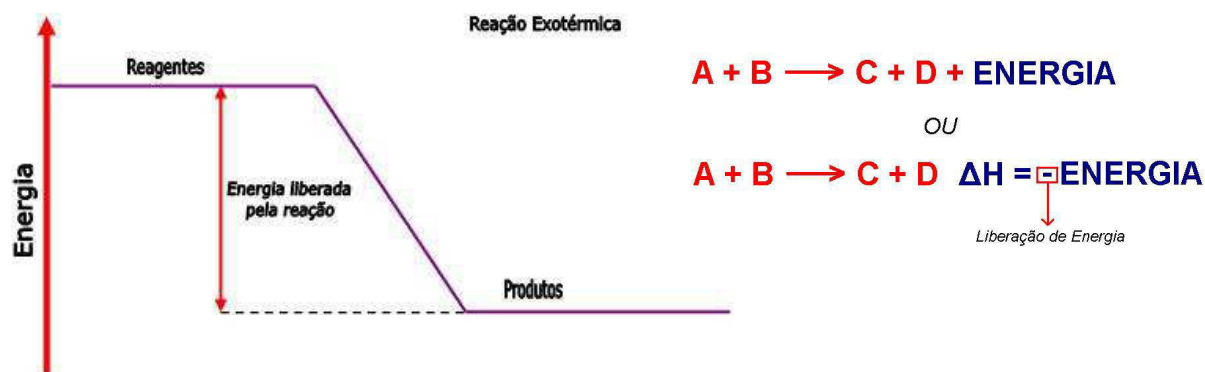


Figura 4.2 – Reacção Exotérmica<sup>1</sup>

Devido à sua rapidez, os mecanismos de transmissão de calor (radiação, convecção e condução) não são adequados para promover a dissipação da energia para o ambiente à mesma taxa a que é produzida. Os combustíveis são substâncias com ligações energéticas tais como carbono/carbono, hidrogénio/hidrogénio e carbono/hidrogénio, que, se libertadas, convertem a energia química em energia térmica. Nesta categoria encontram-se,

<sup>1</sup> <https://chemicalwedding.wordpress.com>

principalmente, compostos de carbono, hidrogénio, nitrogénio e enxofre, nos quais o oxigénio está muitas vezes presente como um elemento de ligação que não contribui para a libertação de energia. O carbono e o hidrogénio são elementos que dão o maior contributo energético ao combustível, ao passo que o nitrogénio e o enxofre, não só são responsáveis por contribuições energéticas mais baixas, como originam produtos com maior potencial de contaminação do ambiente.

Quando se dá a escolha de um combustível, seja ele único ou parte de um composto de combustíveis, para utilizar num forno de clínquer, não basta apenas analisar e ponderar os seus parâmetros energéticos, facilidade de manuseamento ou impacto no produto. É também importante analisar o peso social e económico que a sua utilização comporta. A decisão final terá obrigatoriamente de recair no resultado do balanço de três factores: a influência na qualidade do produto final, os impactes ambientais e os custos envolvidos.

O triângulo de balanços é um auxílio na determinação das reais condições que poderão levar, ou não, à utilização de um determinado combustível. Aquele que melhor satisfaz as necessidades de uma fábrica de cimento, é o que se encontrar o mais possível no centro de gravidade do triângulo.

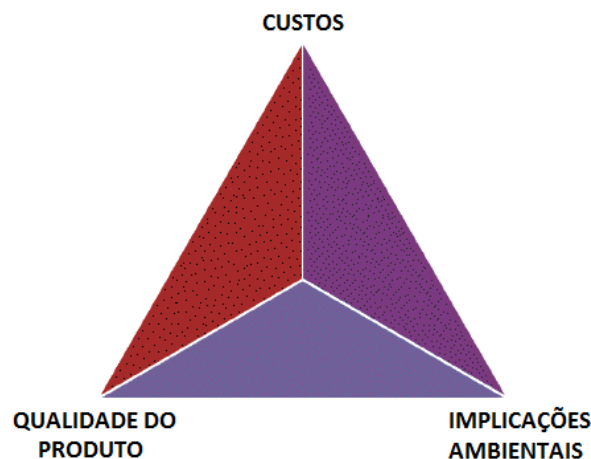


Figura 4.3 – Triângulo de Balanço

- O vértice da qualidade do clínquer:

Se forem usados resíduos como combustível nas fábricas de cimento, o resultante da sua queima fica incorporado no clínquer de cimento, o que pode afetar a qualidade do

produto final. Para as instalações de co-processamento, a qualidade do produto engloba duas dimensões: o potencial perigo para o ambiente decorrente dos resíduos do combustível incorporados, por exemplo, a partir da lixiviação do produto final, e potencial implicação dos resíduos nas características técnicas do produto comprometendo a sua função como um material de construção.

- O vértice das implicações ambientais:

O co-processamento de resíduos pode substituir uma quantidade significativa de combustíveis fósseis na indústria de cimento, conservando os recursos de combustíveis fósseis não renováveis (Karstensen, 2007). A extração de combustíveis fósseis, como o carvão, tem muitas vezes um impacto negativo significativo na paisagem. Como a utilização de resíduos como combustível nos fornos das cimenteiras reduz a necessidade de combustíveis como o carvão, os danos para o ambiente a partir de extração de carvão podem ser significativamente reduzidos (contaminação atmosférica e a percepção na envolvente social).

- O vértice custos:

Os fabricantes de cimento estão compreensivelmente preocupados com o futuro preço dos combustíveis, tendo em vista o atual panorama. A energia é responsável por 30 a 40 % dos custos operacionais no fabrico de cimento, logo, a utilização de combustíveis alternativos torna-se numa oportunidade para tornar a instalação fabril mais competitiva obtendo manter ou aumetar a margem de lucros. Os custos podem ser variáveis de acordo com o tipo de resíduos ou condições locais, embora os fabricantes de cimento possam ser pagos para tratar os resíduos, ou noutros casos, podem ser adquiridos gratuitamente ou a custo menor do que a energia equivalente em carvão ou outros combustíveis fósseis (Murray and Price, 2008). Estão representados todos os custos envolvidos, direta ou indiretamente, com o combustível até à sua transformação energética no forno. Inclui o custo de aquisição do combustível, a amortização das instalações de queima de armazenagem, acondicionamento e transporte de combustíveis, processamento e manuseamento e ainda do tratamento dos gases de combustão, os custos operacionais e os custos de manutenção.

### 4.3. Características físicas e químicas dos combustíveis

As características físicas e químicas dos combustíveis desempenham um papel muito importante no processo de combustão, na produção de clínquer e nas emissões de poluentes atmosféricos. Estas características variam de combustível para combustível.

A característica física de um combustível que mais influencia o processo de queima é a fase em que este se encontra disponível para a combustão. Os combustíveis no estado sólido, líquido ou gasoso queimam de acordo com diferentes mecanismos e cinéticas. Quando usados no estado sólido, os combustíveis tradicionais são normalmente pulverizados antes de serem transportados pneumáticamente e injetados nos fornos com o ar de transporte; os líquidos são geralmente nebulizados quando queimados; os gasosos são simplesmente injetados nos fornos.

Existem muitas outras características físicas dos combustíveis que são importantes para estabelecer as suas condições de utilização e queima:

- Calor Específico
- Condutividade Térmica
- Densidade Absoluta ou Massa Específica
- Limite de Inflamabilidade ou Explosividade
- Poder Calorífico
  - Poder Calorífico Superior
  - Poder Calorífico Inferior
- Temperatura Adiabática de Chama
- Granulometria

As características químicas de um combustível, numa análise imediata e elementar, assentam sobretudo nas ligações energéticas, carbono/carbono, hidrogénio/hidrogénio e carbono/hidrogénio que quando quebrada, libertam energia química em energia térmica. Para além do carbono e hidrogénio existem outros elementos a ter em conta, em especial, o conteúdo em oxigénio, azoto, enxofre, fósforo, cloro, flúor, mercúrio e outros metais pesados (Comissão Europeia, 2006). Também se encontram compostos de carbono, hidrogénio,

nitrogénio e enxofre, nos quais o oxigénio está muitas vezes presente como um elemento de ligação que não contribui para a libertação de energia.

**Quadro 4.4 – Parâmetros físicos e químicos analisados pelo laboratório alemão VDZ de um CDR (Análise imediata)**

| attachments  |                           |       | RDF 8278 D | RDF 8279 D | RDF 8280 D |
|--|---------------------------|-------|------------|------------|------------|
| <b>All test results refer to the sample in delivery conditions and relate to the items tested</b>                          |                           |       |            |            |            |
| Total moisture   | acc. to DIN 51718         | %     | 43,01      | 15,29      | 27,95      |
| Gross calorific value  | acc. to DIN 51900         | kJ/kg | 13538      | 23581      | 18911      |
| Net calorific value  | acc. to DIN 51900         | kJ/kg | 11698      | 21799      | 17060      |
| Hydrogen *   | acc. to DIN 51732         | %     | 3,73       | 6,64       | 5,51       |
| Oxygen *   | acc. to DIN 51732         | %     | 8,89       | 8,56       | 11,9       |
| Total Nitrogen *   | acc. to DIN 51732         | %     | 0,28       | 0,69       | 0,76       |
| Sulphur  | acc. to DIN EN 14582      | %     | 0,11       | 0,22       | 0,18       |
| Chloride   | acc. to DIN EN 14582      | %     | 2,46       | 2,58       | 2,10       |
| Volatile Constituents  | acc. to DIN 51720         | %     | 39,10      | 63,57      | 53,22      |
| Ash content  | acc. to DIN 51719         | %     | 12,89      | 14,78      | 11,68      |
| Total Carbon *   | acc. to DIN 51732         | %     | 30,5       | 49,9       | 40,5       |
| TC from Biomass  | acc. to CEN/TS 15440:2006 | %     | 3,43       | 5,62       | 9,84       |
| TC from Inert-Mass   | acc. to CEN/TS 15440:2006 | %     | 0,25       | 0,42       | 0,31       |
| TC from Non-Biomass  | acc. to CEN/TS 15440:2006 | %     | 25,0       | 42,2       | 28,3       |
| Inert Mass   | acc. to CEN/TS 15440:2006 | %     | 13,84      | 16,45      | 12,72      |
| <b>Content of biomass, expressed as percentage of biogenic carbon of the samples on the total carbon content, amounts:</b> |                           |       |            |            |            |
| Biomass  | acc. to CEN/TS 15440:2006 | %     | 12,0       | 11,7       | 25,6       |

A presença de determinados compostos químicos, tais como o enxofre, o azoto ou o cloro, acarretam implicações ambientais e de processo.

Para a escolha de um combustível, terão de ser avaliados, comparados e quantificados, caso a caso, todos os parâmetros técnicos, económicos, estratégicos, ambientais, físicos e químicos envolvidos na utilização desse mesmo combustível, só sendo assim possível alcançar a solução onde se poderá obter o melhor balanço entre custos, qualidade e segurança ambiental.

#### 4.4. Valorização energética

O Sistema Industrial processa matérias-primas e energia, libertando produtos secundários e resíduos que representam uma responsabilidade para os seus produtores, para a sociedade e para o ambiente. Estes subprodutos ou resíduos, pela sua constituição, podem, depois de

maior ou menor processamento adequado, ser valorizados energeticamente como combustíveis alternativos. Estes combustíveis, também conhecidos como combustíveis não convencionais, são materiais ou substâncias que podem ser utilizados em alternativa aos combustíveis tradicionais, como os fósseis (petróleo, carvão, propano e gás natural). Alguns exemplos destes resíduos são os pneus, terras contaminadas com hidrocarbonetos, solventes orgânicos, lamas orgânicas, farinhas de origem animal, resíduos da indústria da madeira, processamento de resíduos sólidos urbanos, etc.

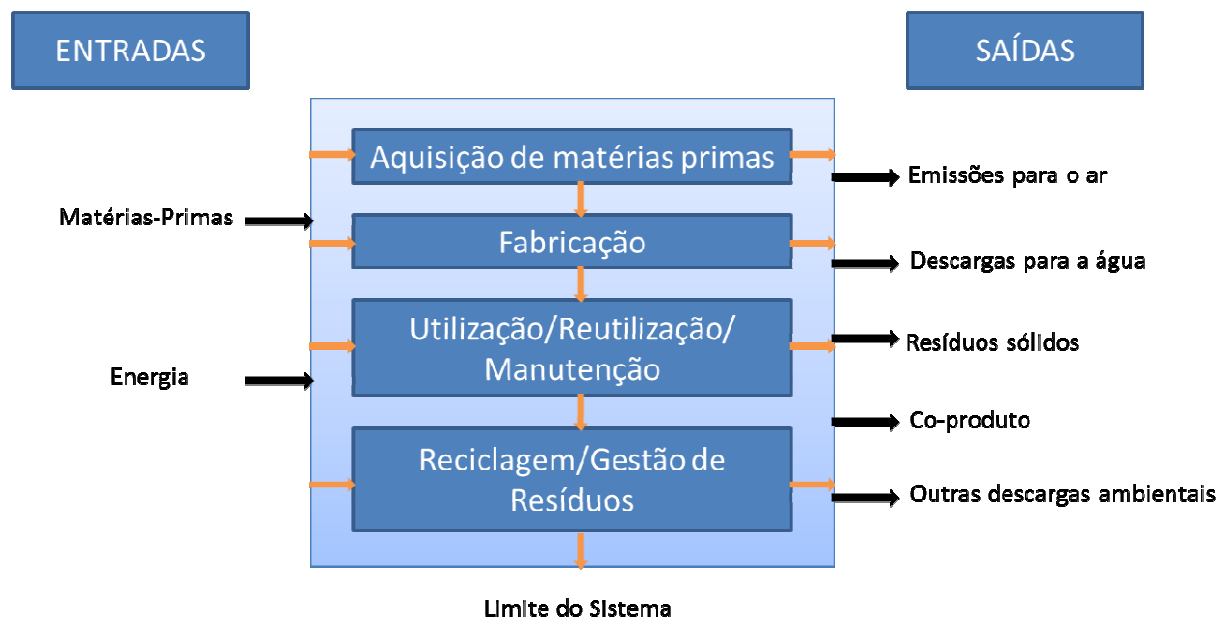


Figura 4.4 – O Sistema Industrial e a produção de resíduos (USEPA, 2006)

Devido à alta densidade populacional, à limitação ou falta de espaços livres e ao aumento dos custos dos combustíveis tradicionais, as indústrias europeias direcionaram-se objetivamente para políticas que privilegiem a reutilização, reciclagem e redirecionamento dos fluxos de resíduos das fontes para utilizações secundárias.

A proibição da deposição de resíduos não processados em aterros, em alguns Estados-Membros da UE, levou a um aumento do número de estações de tratamento de resíduos a serem colocadas em operação. Como consequência, a utilização de fracções de resíduos pré-tratados é uma questão de crescente preocupação. Após o tratamento adequado, fracções de resíduos individuais podem cumprir os requisitos para a sua reutilização em fábricas de cimento.

A Convenção de Basileia (2011) define o co-processamento como "a utilização de materiais residuais em processos de fabrico com o fim de obter energia e / ou a recuperação de recursos e redução resultante na utilização de combustíveis convencionais e / ou através da substituição de matérias-primas." Este é também um conceito de ecologia industrial, relacionada com o papel potencial da indústria na redução dos encargos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. A Convenção de Basileia define ainda co-processamento como uma operação "que pode levar a recuperação de recursos, reciclagem, regeneração, reutilização direta ou usos alternativos" (Basel Convention, 2011).

Por todo o mundo conseguem-se encontrar fabricantes de cimento que estão a substituir os combustíveis fósseis por RSU, lamas e outros combustíveis alternativos. O co-processamento de resíduos tem vindo a ser praticado, nas últimas duas décadas, na grande maioria dos países mais desenvolvidos, caso de alguns países na Europa, Estados Unidos, Japão e Canadá (GTZ / Holcim, 2006; Genon and Brizio, 2008). A Holanda e a Suíça em 2005 utilizavam 83 e 48 por cento de resíduos, respetivamente, em substituição dos combustíveis tradicionais, estando entre os líderes mundiais nesta prática (WBCSD, 2005). Na Europa é recuperada uma quantidade substancial de combustíveis derivados de resíduos, que substituem os combustíveis fósseis, até um nível de mais de 80% em algumas fábricas, o que permite à indústria cimenteira possa contribuir ainda mais para a redução das emissões de gases de efeito estufa, com a utilização de menos recursos naturais (BREF LCP, 2006).

Num estudo apresentado pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA em 2008, muitos fabricantes de cimento indicaram que o uso de combustíveis alternativos era vital para a uma competitividade continuada.

A indústria cimenteira, tradicionalmente um utilizador substancial dos recursos naturais não-renováveis, minerais e combustíveis fósseis, está, assim, empenhada em utilizar os resíduos para a conservação desses recursos, sem, ao mesmo tempo, a produção de resíduos finais.

De acordo com as políticas de resíduos já anteriormente referidas, considera-se a integração de resíduos como combustíveis alternativos, no processo de fabrico de cimento, uma operação de recuperação com valorização, pois ao invés do resíduo ser depositado num aterro, é utilizado como combustível ou outro meio de produção de energia.

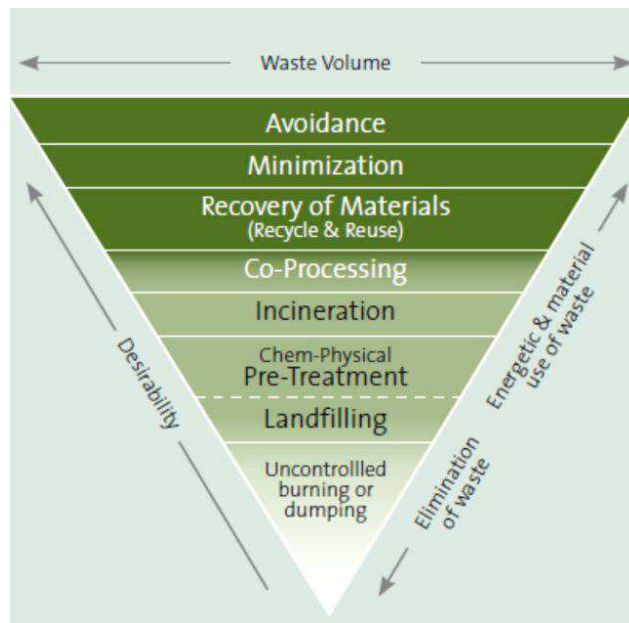


Figura 4.5 – Gestão da Hierarquia dos Resíduos (GTZ/Holcin, 2006)

A vantagem associada à utilização dos resíduos como combustíveis alternativos prende-se com o facto de permitir uma clara economia de recursos naturais não renováveis e de diminuir as emissões de poluentes para a atmosfera. Muitas vezes os resíduos têm que ser processados para serem utilizados como combustíveis alternativos, tendo de ser preparados de forma a poderem ser utilizados nos fornos.

Nos países desenvolvidos os resíduos são frequentemente incinerados, com ou sem recuperação de calor, para se reduzir a necessidade de aterros. Os Estados Unidos tem 86 instalações de incineração de resíduos sólidos urbanos que processam mais de 28 milhões de toneladas de resíduos por ano, com uma capacidade de recuperação de energia de 2.720 megawatts de energia. Aproximadamente 10 por cento do volume original permanece como cinza depois da incineração de resíduos sólidos urbanos (USEPA, 2012). Em geral, as cinzas contêm metais pesados o que é frequentemente classificado como um resíduo perigoso.

Vários estudos têm demonstrado as vantagens do co-processamento de resíduos na indústria de cimento em comparação com a incineração de resíduos. Um estudo realizado pelo Netherlands Organization for Applied Science Research (TNO, 2002) usou a abordagem de avaliação de ciclo de vida para comparar os impactos ambientais da utilização de resíduos como combustível alternativo/matéria-prima na indústria de cimento, comparativamente aos impactos da queima de resíduos em incineradoras de resíduos perigosos que contemplam

recuperação de eletricidade e vapor. O estudo concluiu que, para a grande maioria dos impactos ambientais envolvidos, a utilização de resíduos como combustível alternativo na indústria do cimento era melhor para o ambiente do que o tratamento de resíduos em incineradoras (CEMBUREAU, 2009).

Outra análise de avaliação do ciclo de vida efectuada pela CEMBUREAU mostra que, para alguns dos resíduos, a opção de queima num forno de cimento supera outras opções, tais como a incineração e a reciclagem (CEMBUREAU, 1999).

As Figuras 4.6 e 4.7 mostram graficamente como o co-processamento de resíduos em fornos de cimento supera a incineração ou deposição em aterro de resíduos. Além dos benefícios de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, o co-processamento de resíduos reduz as emissões de metano dos aterros sanitários. As emissões de aterros consistem em cerca de 60 % de metano, um gás com potencial de aquecimento global 21 vezes maior que a do CO<sub>2</sub> (CEMBUREAU 2009).

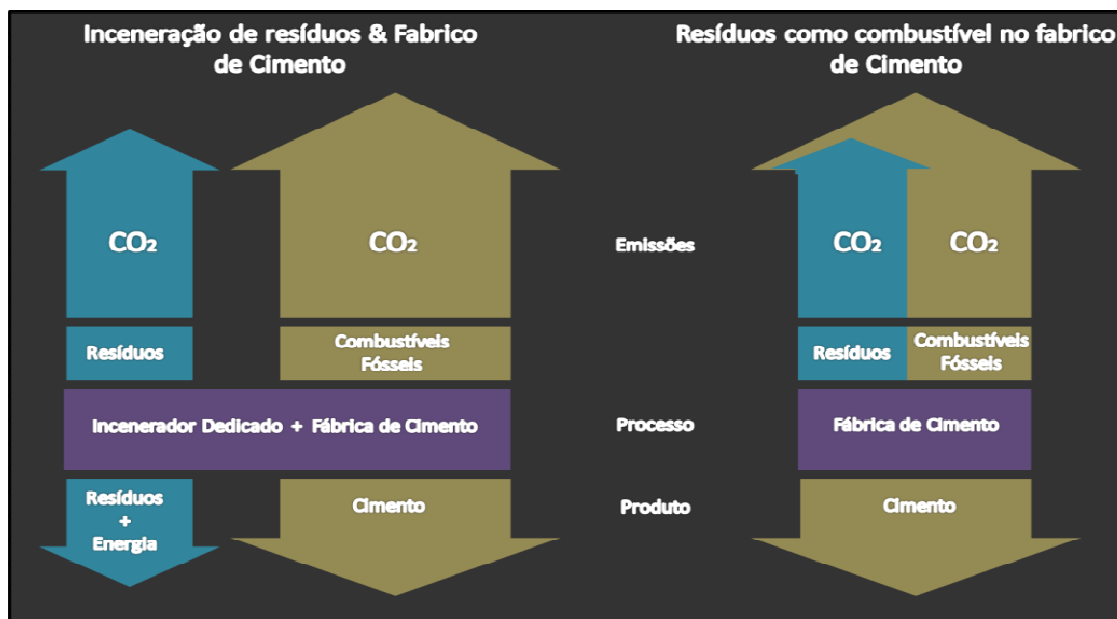


Figura 4.6 – Emissões de gases de efeito estufa da incineração e co-processamento (CEMBUREAU, 2009)

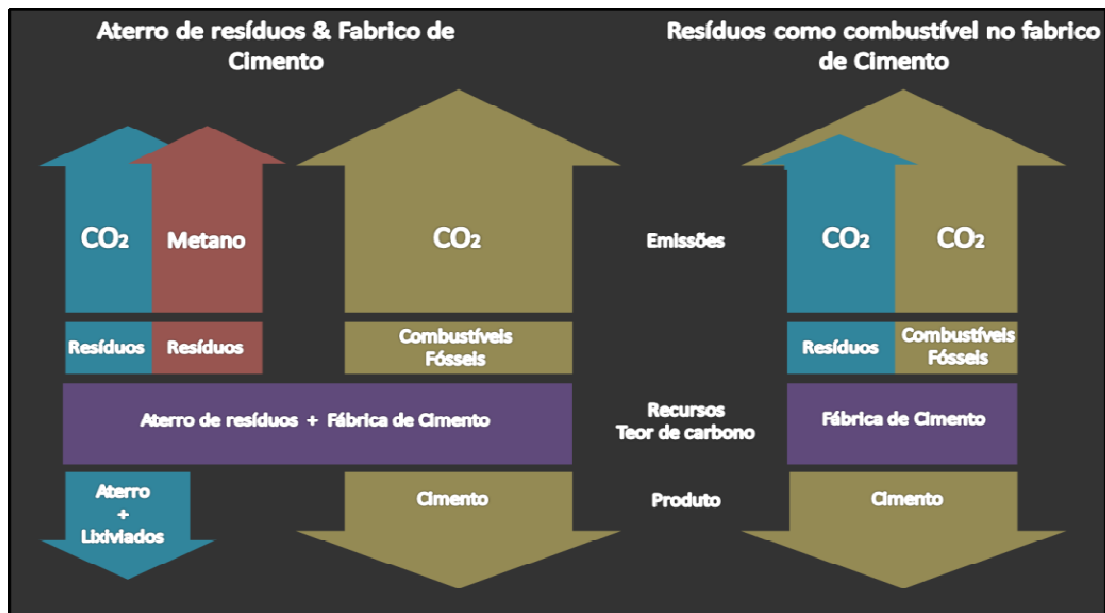


Figura 4.7 – Emissões de gases de efeito estufa dos aterros de resíduos e co-processamento (CEMBUREAU, 2009)

.Quando se comparam os processos de destino de resíduos, falando dos aterros, da Incineração e a co-incineração, considera-se que a valorização energética nos fornos de clínquer tem inúmeras vantagens, com impactos positivos.

Quadro 4.5 – Valorização energética de resíduos (VER) – Vantagens e impactos positivos

| VANTAGENS   | IMPACTES POSITIVOS  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilidade térmica do processo</li> <li>Temperatura da chama</li> <li>Turbulência dos gases</li> <li>Tempo de retenção acima dos 1200 °C</li> <li>Ambiente alcalino (neutraliza os ácidos, óxidos de enxofre e ácido clorídrico)</li> <li>Fixação de metais pesados na estrutura de compostos estáveis do clínquer</li> <li>Destruição total, sem nenhuma produção de resíduos ou subprodutos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Redução das emissões atmosféricas de gases causadores do efeito de estufa (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Nox)</li> <li>Maior controlo das emissões atmosféricas</li> <li>Redução dos quantitativos de resíduos depositados em aterro</li> <li>Aumento da competitividade face a outras congéneres que não incorporem resíduos</li> </ul> |

## 4.5. Co-processamento na Indústria Cimenteira

Quando os resíduos são tratados como combustível em fábricas de cimento, os resíduos dos combustíveis alternativos são incorporados no clínquer de cimento, o que pode afectar a qualidade do produto final. Devido a isso foram estabelecidos padrões internacionais e nacionais para a quantidade de resíduos no produto final.

A alta temperatura de fornos de cimento pode destruir completamente os componentes orgânicos dos resíduos, mas os componentes inorgânicos, incluindo os metais, são incorporados no produto final. Assim, se existirem metais no combustível, o co-processamento poderá alterar a concentração de metal no produto final, o que levará a uma diferença em relação ao produto final de uma fábrica que não seja alimentada por este tipo de combustível (EIPPCB, 2010). Conhecendo a constituição e concentração dos elementos químicos nas matérias-primas, nos combustíveis tradicionais e alternativos, da taxa de destruição e de incorporação de determinados elementos no processo, é possível definir com segurança as quantidades de resíduos a tratar, sem qualquer risco para a saúde pública, para o ambiente, para a operação da fábrica e, sobretudo, para a qualidade do produto. Assim, poderão ser previstas com grande certeza, as emissões atmosféricas de poluentes, no que diz respeito ao cumprimento de legislação e da garantia da segurança da saúde pública e do ambiente.

**Quadro 4.6 – Compostos limitativos à operacionalidade do processo, qualidade do produto e ambiente**

| Operacionalidade do Processo   | Qualidade do produto   | Saúde Pública/Ambiente   |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloro</li> <li>• Enxofre</li> <li>• Fósforo</li> <li>• Potássio</li> <li>• Sódio</li> <li>• Água</li> <li>• "Poder Calorífico"</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálcio</li> <li>• Sílica</li> <li>• Alumínio</li> <li>• Ferro</li> <li>• "Cinzas"</li> <li>• Cloro</li> <li>• Enxofre</li> <li>• Fósforo</li> <li>• Potássio</li> <li>• Sódio</li> <li>• Crómio</li> <li>• Ferro</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metais Pesados               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercúrio</li> <li>- Antimónio</li> <li>- Arsénio</li> <li>- Chumbo</li> <li>- Crómio</li> <li>- Cobalto</li> <li>- Cobre</li> <li>- Manganês</li> <li>- Níquel</li> <li>- Vanádio</li> <li>- Cádmio</li> <li>- Tálho</li> </ul> </li> <li>• Compostos orgânicos totais</li> </ul> |

Testes de lixiviação, para avaliar a segurança ambiental do uso de betão resultante de cimento produzido com co-incineração revelaram que os efeitos ligados aos componentes existentes são menores ou perto dos limites de detecção do método analítico mais sensível (Vagner Maringolo, 2001). No entanto, certos metais, tais como Antimónio, Crómio, ou Vanádio, podem ser mais móveis, especialmente quando uma estrutura de betão ou argamassa é esmagada ou triturada (por exemplo, quando reciclado como agregado nas fundações da estrada ou em cenários de final da vida, tais como aterros) (Basel Convention, 2011).

Como o cimento produzido por co-processamento deve respeitar as normas nacionais e internacionais de qualidade, não deve ser utilizado como um depósito de metais pesados, ou ter características que possam resultar num impacto negativo sobre o meio ambiente. Além disso, o cimento deve ser de uma qualidade que permite a recuperação no seu final de vida (Basel Convention, 2011).

Existem estudos que têm demonstrado que, com base em análise estatística, o co-processamento de resíduos tem um efeito marginal sobre o teor de metais pesados do clínquer, com a única exceção de quando são utilizados pneus usados como combustível em fornos, pois aumenta os níveis de zinco no produto final. A quantidade excessiva de zinco causa um problema para a formação de cimento Portland, endurecendo muito rapidamente e, portanto, o consumo de pneus deve ser gerido em conformidade (GTZ / Holcim, 2006).

O Mercúrio, o Cádmiio e o Tálíio são metais pesados com uma capacidade de incorporação no clínquer baixa, podendo ficar retidos em cerca de 99% dentro do processo de produção, em circuitos de volatilização e condensação, não dando garantias de emissões atmosféricas abaixo dos limites legais, em condições normais. No entanto, utilizando critérios específicos de aceitação muito apertados nestes valores, as emissões nas linhas de produção podem resultar bem inferiores aos limites legais.

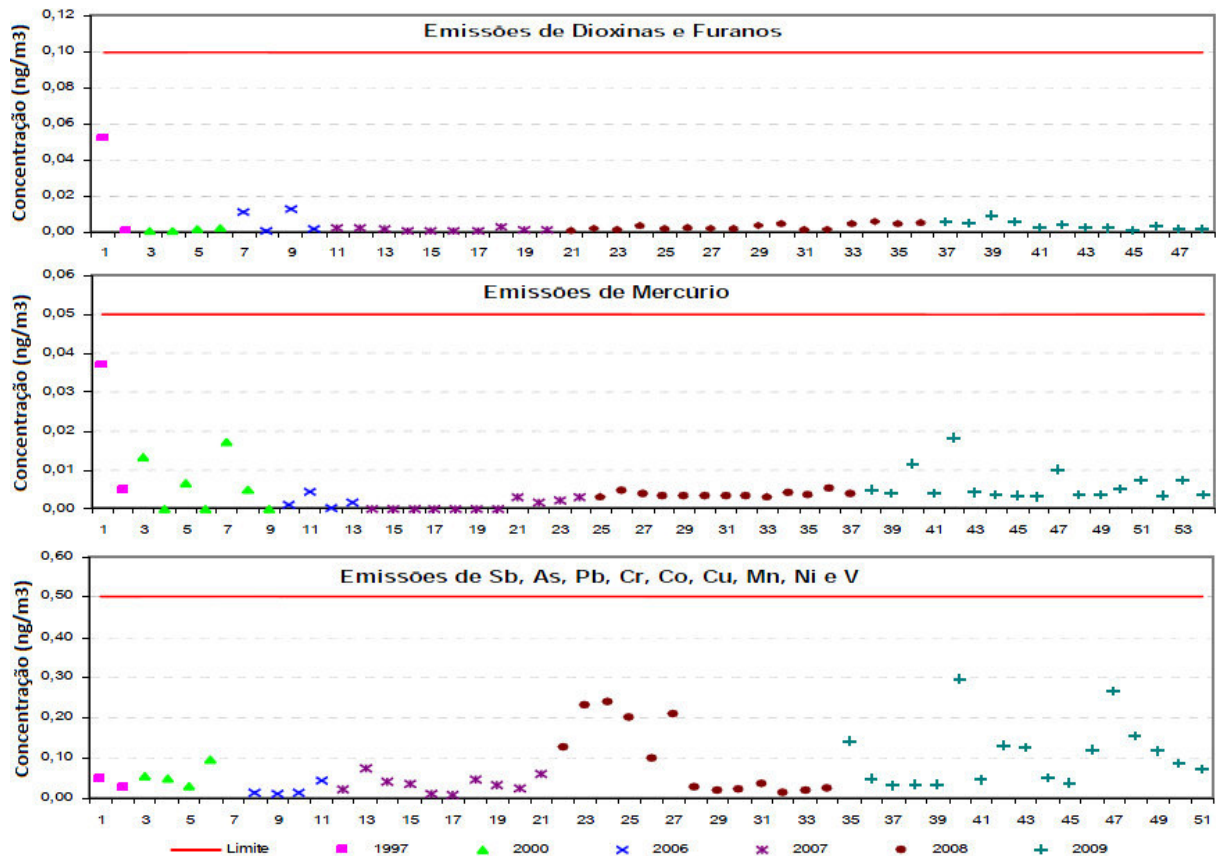


Gráfico 4.1 – Emissões na Fabrica de Maceira-Liz (Secil, 2012)

A taxa de destruição de dioxinas é muito elevada devido a duas características do processo, o tempo de residência dos gases ser superior a 8 segundos e o uso de temperaturas superiores a 900 graus centígrados. Os componentes orgânicos totais normalmente presentes nas matérias-primas das pedreiras, caso a taxa de destruição do processo fosse teoricamente zero, variaria entre 0 e 300 mg/Nm<sup>3</sup>. Devido à taxa de destruição de 90%, as emissões variam entre 0 e 34 mg/Nm<sup>3</sup>. O limite legal é de 200 mg/Nm<sup>3</sup> ao qual é aplicada a regra da mistura, resultando limites superiores a 100.

Quadro 4.7 – Taxa de destruição e incorporação dos elementos

| Taxa de incorporação no clínquer  | Taxa de destruição  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimónio a Vanádio — 99,99%</li> <li>• Enxofre — 98%</li> <li>• Mercúrio — 70%</li> <li>• Cádmio + Tálho — 75%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compostos Orgânicos Totais — 90%</li> <li>• Dioxinas e Furanos — 99,99%</li> </ul> |

Existem ainda outros compostos cujas quantidades deverão ser ainda mais reduzidas (compostos voláteis e minoritários), e que podem causar um grande impacto no desenrolar do processo de clínquerização. Todos eles vêm inseridos nas matérias-primas e nos combustíveis.

## 4.6. Consumos e objetivos futuros

No projeto “*Getting the Numbers Right*” (GNR) desenvolvido no âmbito da iniciativa CSI (Cement Sustainability Initiative) da WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), da qual são associados os principais grupos produtores de cimento, foram recolhidas informações dos grupos participantes com a finalidade de perceber o desempenho ao nível energético e de emissões de CO<sub>2</sub>. No projeto, o número de grupos produtores participantes, dos quais fazem parte os portugueses CIMPOR e SECIL, foi de 49, representando 930 fábricas de cimento, o que equivale a 25% das existentes em todo o mundo.

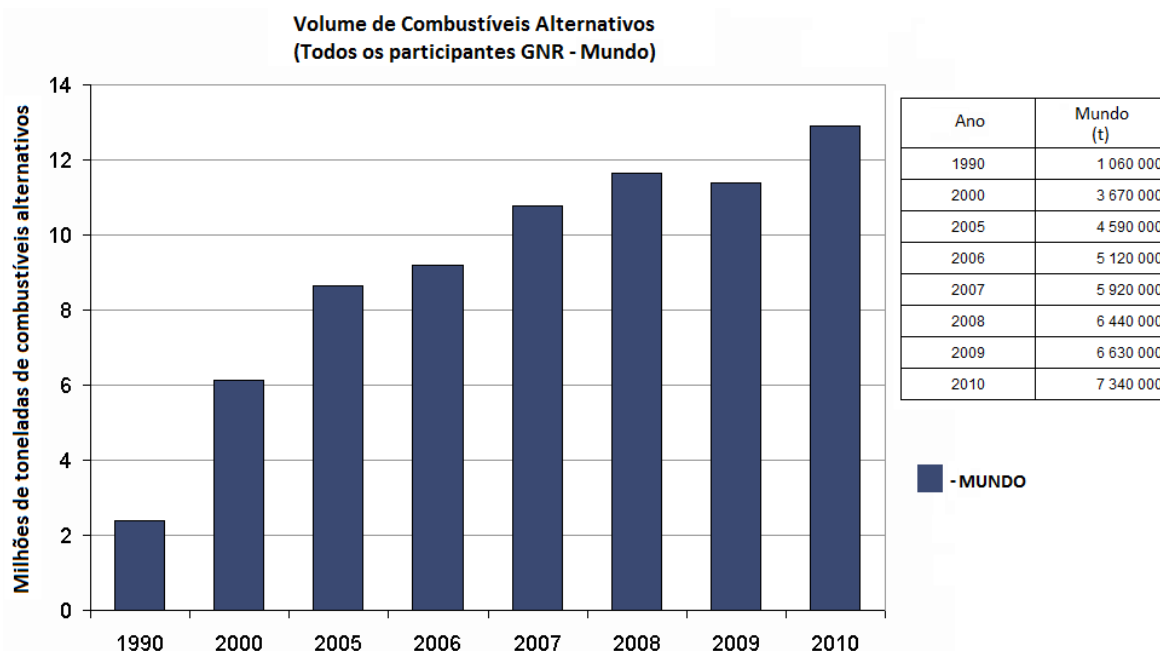
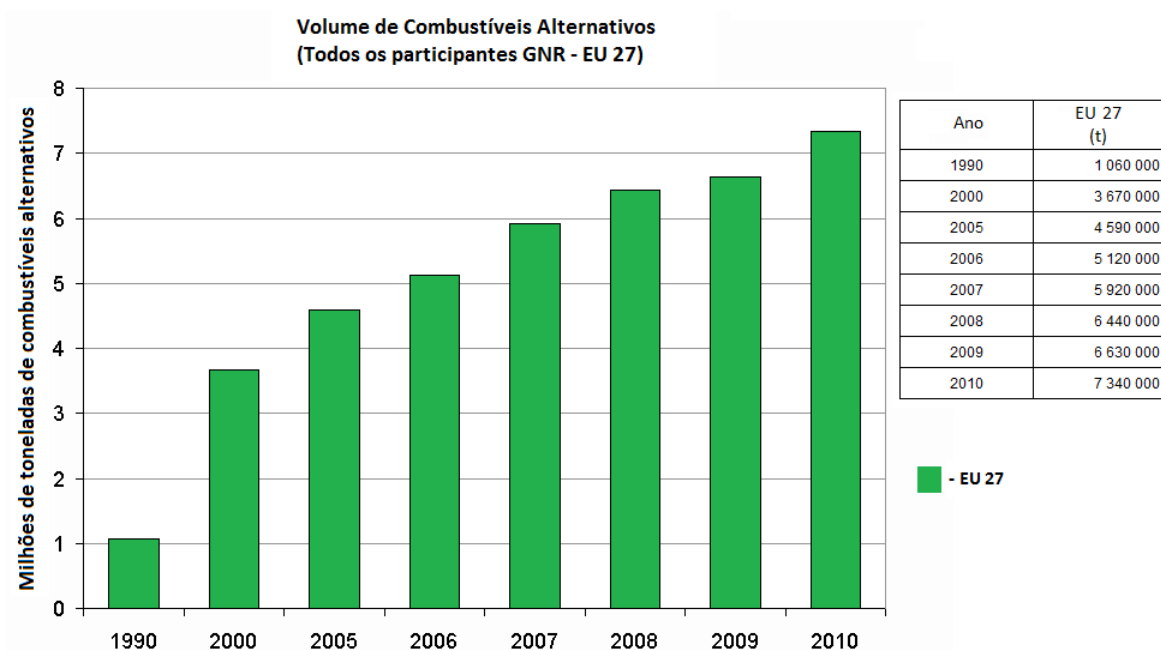


Gráfico 4.2 – Consumo de combustíveis alternativos no mundo (CSI, 2009)

Em 2010, os participantes do projeto recuperaram cerca de 13 milhões de toneladas de resíduos, o que corresponde a 10% das suas necessidades de energia térmica. Existem, ainda assim, grandes diferenças na utilização de combustíveis alternativos de região para região, podendo variar de 0 a 70% das necessidades de combustível. A maior utilização ocorre em países com a legislação ambiental mais desenvolvida, cumprimento da lei rigoroso e boas práticas de recolha e gestão de resíduos. A Europa dos 27 contribuiu com 57% do valor total de combustíveis alternativos consumidos.



**Gráfico 4.3 – Consumo de combustíveis alternativos na EU 27 (CSI, 2009)**

Na fábrica de Maceira-Liz há mais de duas décadas que se consomem pneus usados inteiros, sendo o consumo médio dos últimos anos de 13.000 toneladas por ano. Em 2009, com a instalação do Parque de Combustíveis Alternativos com uma capacidade de armazenamento de 2100 toneladas, a empresa começou a ter capacidade de consumo de outro tipo de combustíveis, principalmente CDR (combustíveis derivados de resíduos), plásticos e borrachas, e biomassa florestal. Nas outras fábricas do grupo SECIL (Pataias e Outão), também se consomem farinhas animais, pneus triturados e alguns resíduos perigosos, nomeadamente lamas oleosas (de tratamento físico-químico contendo substâncias perigosas). Os resíduos alternativos (não perigosos) têm origem industrial ou doméstica, conforme é indicado no quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Origem dos Resíduos (fileiras)

|                            | Origem   |
|----------------------------|--|
| <b>Papel e cartão</b>      | Produção e transformação de pasta de papel / produção de papel e cartão / indústria de reciclagem de papel e cartão  |
| <b>Plástico e borracha</b> | Processos de produção à base de plásticos, borrachas e fibras sintéticas / moldagem e tratamento físico e mecânico de superfície de plásticos / actividades de manutenção de veículos / veículos em fim de vida e actividades de desmantelamento dos mesmos / construção e demolição / processos de tratamento mecânico de resíduos / recolha seletiva de plásticos  |
| <b>Tecidos animais</b>     | Preparação e processamento de carne, peixe e outros produtos alimentares de origem animal  |
| <b>Tecidos vegetais</b>    | Atividades agrícolas e silvícolas / processos de preparação e processamento de cereais / resíduos da produção de conservas / resíduos da produção de levedura e extrato de levedura / preparação e fermentação de melaços / produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas / transformação da madeira e produção de painéis e mobiliário / produção e transformação de pasta de papel, papel e cartão, embalagens / construção e demolição / processos de tratamento mecânico de resíduos / recolha de resíduos urbanos e resíduos equiparados do comércio, indústria e serviços, incluindo frações recolhidas seletivamente em jardins e parques |
| <b>Têxteis</b>             | Indústria têxtil / processos de tratamento mecânico de resíduos (ex: triagem, trituração, compactação)   |
| <b>Outros resíduos</b>     | Processos químicos inorgânicos / apreensões efetuadas pela Brigada Fiscal da GNR / processos de tratamentos físico-químicos de resíduos / tratamento aeróbico de resíduos sólidos / tratamento de água para consumo humano ou industrial / processos de tratamento mecânico de resíduos, compactação e paletização   |

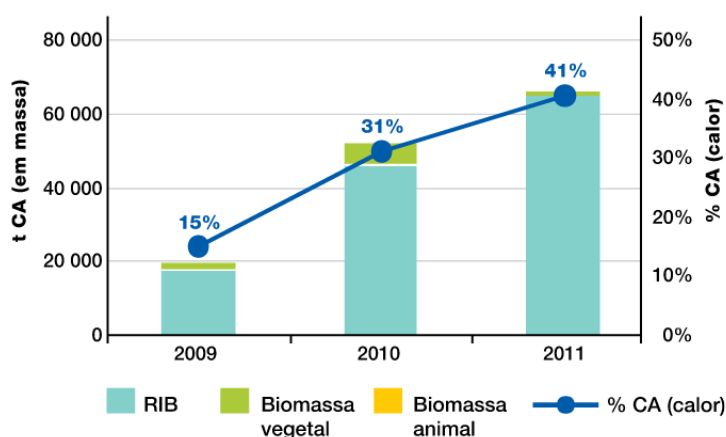


Gráfico 4.4 – Evolução do consumo de combustíveis alternativos Fábrica Maceira-Liz

Na figura 4.8 estão ilustrados os resíduos consumidos em maior quantidade na Fábrica de Maceira-Liz, cuja composição e principais características podem, ou não, ser constantes

dentro das mesmas fileiras de resíduos, o que constitui um problema operacional. Conhecer estas características é fundamental, pois durante o processo de queima não se usa apenas um combustível de um único fornecedor, mas uma mistura de combustíveis, ou uma mistura de variantes do mesmo combustível, oriundo de diferentes fornecedores, podendo estes ter características semelhantes, mas não iguais.



Figura 4.8 – Resíduos valorizados na Fábrica de Maceira-Liz

No Laboratório da Qualidade da empresa são efetuados ensaios calorimétricos para analisar as características dos combustíveis, quer pelo seu tipo, quer pelo seu fornecedor com a finalidade de saber os Poderes Caloríficos, percentagem de Enxofre, percentagem de humidade, percentagem de matérias voláteis e percentagem de cinzas.

Quadro 4.9 – Especificações “reais” dos resíduos do boletim de ensaios caloríficos

| COMBUSTÍVEL         | PODERES CALORÍFICOS (Kcal/Kg) | % ENXOFRE | % HUMIDADE | % MATÉRIAS VOLÁTEIS | % CINZAS | ORIGEM      |
|---------------------|-------------------------------|-----------|------------|---------------------|----------|-------------|
| Pneus usados        | 3692 - 4025                   | 1,92      | 10,7       | 43,19               | 47,37    | Cibra       |
| Tecidos animais     | 3942 - 4461                   | 0,51      | 2,85       | 67,23               | 24,07    | Gesuga      |
|                     | 4745 - 5514                   | 0,49      | 2,34       | 74,43               | 17,61    | Luis leal   |
| Estilha de madeira  | 3317 - 3821                   | 0,07      | 1,42       | 65,25               | 25,05    | Nacional    |
| CDR                 | 3626 - 4203                   | 0,2       | 8,8        | 74,85               | 13,76    | Niramax     |
|                     | 9008 - 9745                   | 0,16      | 31,56      | 95,52               | 4,38     | Micronipol  |
|                     | 5960 - 6623                   | 0,17      | 5,58       | 85,8                | 8,4      | Transucatas |
|                     | 4250 - 4850                   | 0,54      | 5,81       | 77,72               | 12,75    | Transwaste  |
|                     | 5164 - 5780                   | 0,45      | 1,86       | 79,82               | 14,85    | SGR         |
|                     | 2605 - 5180                   | 0,33      | 2,7        | 74,49               | 17,37    | Ambitrena   |
| Fluff               | 7647 - 8179                   | 1,59      | 1,84       | 68,94               | 7,1      | Biogoma     |
|                     | 6713 - 7282                   | 1,3       | 0,88       | 73,8                | 5,5      | Biosafe     |
|                     | 4393 - 4637                   | 0,57      | 1,27       | 63,46               | 31,72    | Nacional    |
| Plástico e borracha | 6451 - 7075                   | 0,11      | 19,82      | 80,89               | 12,8     | Gonzalez    |
|                     | 5165 - 5282                   | 0,2       | 1,89       | 77,64               | 15,15    | Espanha     |
| Fibras sintéticas   | 2648 - 3102                   | 0,1       | -          | 58,91               | 39,77    | Sanitana    |

Tal como no panorama mundial e europeu, na Fábrica de Maceira-Liz, o consumo de combustíveis alternativos tem vindo a aumentar ao longo dos anos, trazendo consigo vantagens ambientais ao nível da redução das emissões de CO<sub>2</sub>, diminuição do consumo de combustíveis fósseis e diminuição da quantidade de resíduos que, de outra forma, seriam depositados em aterro. Desde 2009 foram estabelecidos objetivos de substituição de combustíveis tradicionais por combustíveis alternativos, sendo 50% o objetivo estabelecido para 2012. Os objetivos não foram cumpridos na totalidade, embora os resultados sejam satisfatórios, estando o motivo associado ao mix de combustíveis alternativos disponível no mercado e a adaptação do processo de fabrico a esta realidade. No ano de 2011 foram consumidas 65.913 toneladas de combustíveis alternativos, dos quais 12.961 toneladas de pneus usados, 14.397 de plástico e borracha, 772 toneladas de biomassa vegetal, 34705 toneladas de combustíveis derivados de resíduos (CDR), 29 toneladas de roupas, 2887 toneladas de rejeitados de fibras, 159 toneladas de material impróprio para consumo e 4 toneladas de materiais filtrantes não contaminados, correspondendo a uma taxa de substituição de 41%.

## 5. Análise comparativa e perspectivas de evolução

---

O consumo específico de energia térmica na fábrica de Maceira-Liz atingiu o valor de 870 kcal/kg de clínquer (clk), valor um pouco menor mas próximo dos 2 anos anteriores. Comparativamente ao ano de 2010, quando foram divulgados os valores a nível mundial no Projecto GNR (Getting the Numbers Right), pode-se constatar que os valores de consumo são superiores à média mundial (855 kcal/kg clk), resultando possivelmente do peso de países como a China que apresentam valores consideravelmente mais baixos (831 kcal/kg clk). O consumo específico de energia térmica na empresa encontra-se abaixo dos valores praticados na Europa (889 kcal/kg clk), sendo, no entanto, de realçar o facto de em Espanha os valores serem relativamente inferiores (855 kcal/kg clk).

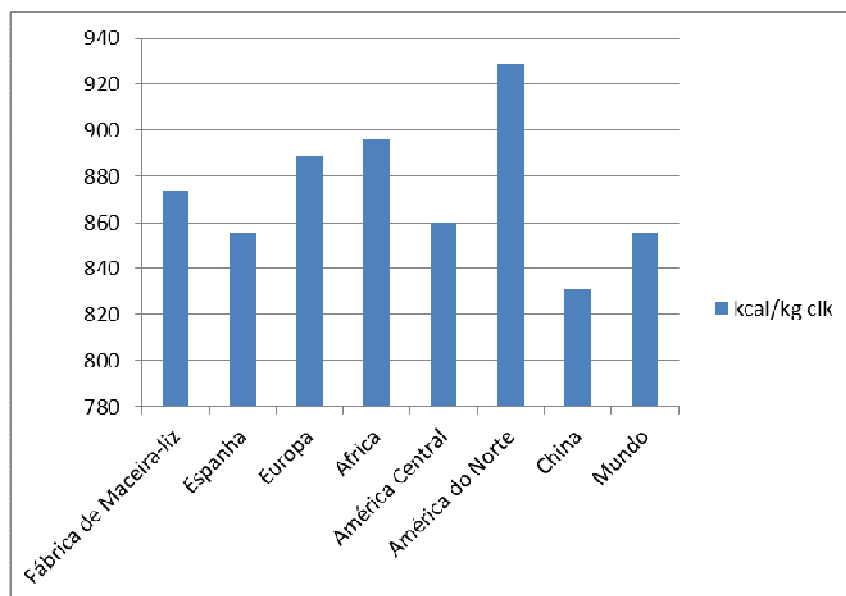


Gráfico 5.1 – Consumos específicos de energia térmica em 2010

O consumo específico de energia eléctrica na fábrica de Maceira-Liz, no ano de 2010, atingiu o valor de 108 kWh/t cim, valor aproximadamente inferior em 17% relativamente à média do consumo específico em Espanha (130 kWh/t cim) e inferior em 8% relativamente à média europeia (117 kWh/t cim). O valor de consumo específico no mundo é em média de igual valor ao apresentado pela empresa (108 kWh/t cim).

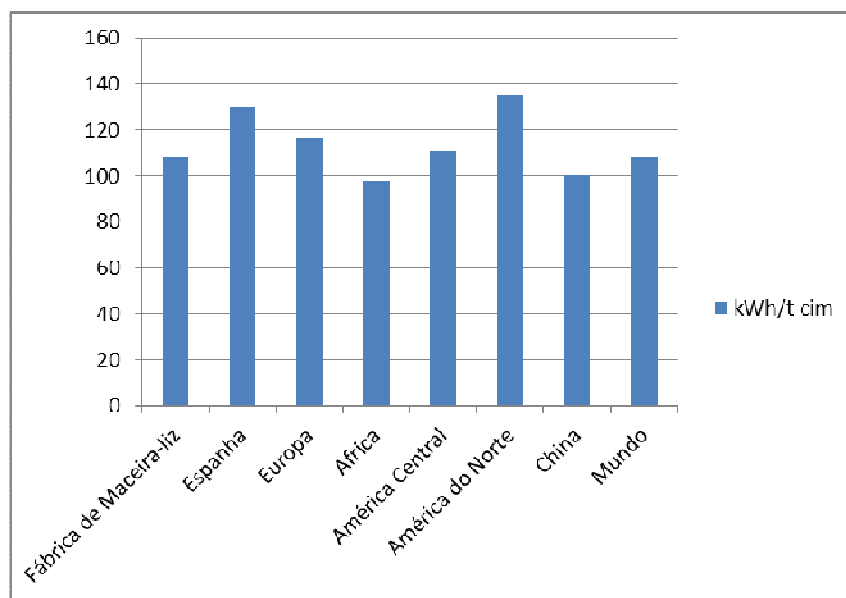


Gráfico 5.2 – Consumos específicos de energia eléctrica em 2010

A Secil está entre os líderes relativamente à utilização de combustíveis alternativos com os 41% da fábrica de Maceira-Liz, mas, ainda assim existe uma grande margem de evolução, como se pode verificar quando comparando com países como a Alemanha, que atingiu uma taxa de substituição de 61,7% em 2011.

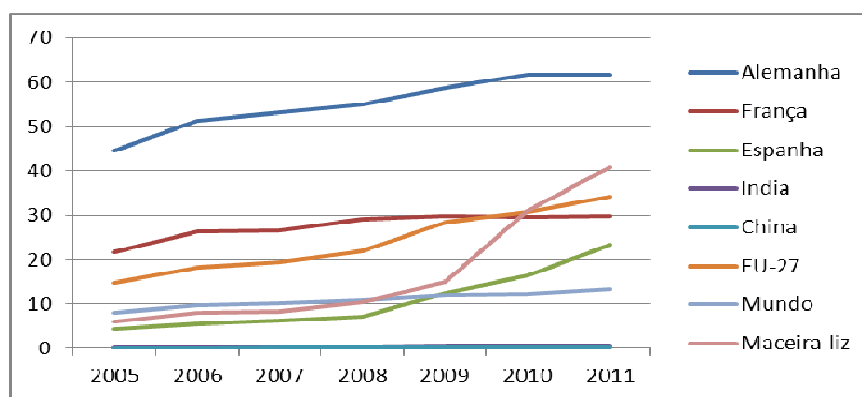


Gráfico 5.3 – Comparativo do consumo de combustíveis alternativos

A taxa de incorporação de clínquer no cimento está em linha com a maioria dos países fabricantes de cimento, estando em 2011 com valores de 73%, próximo da média europeia (72,5%) e abaixo da média mundial (75,6%). A Alemanha é uma vez mais o país que apresenta os melhores valores, com uma taxa de incorporação de clínquer de 65,4%.

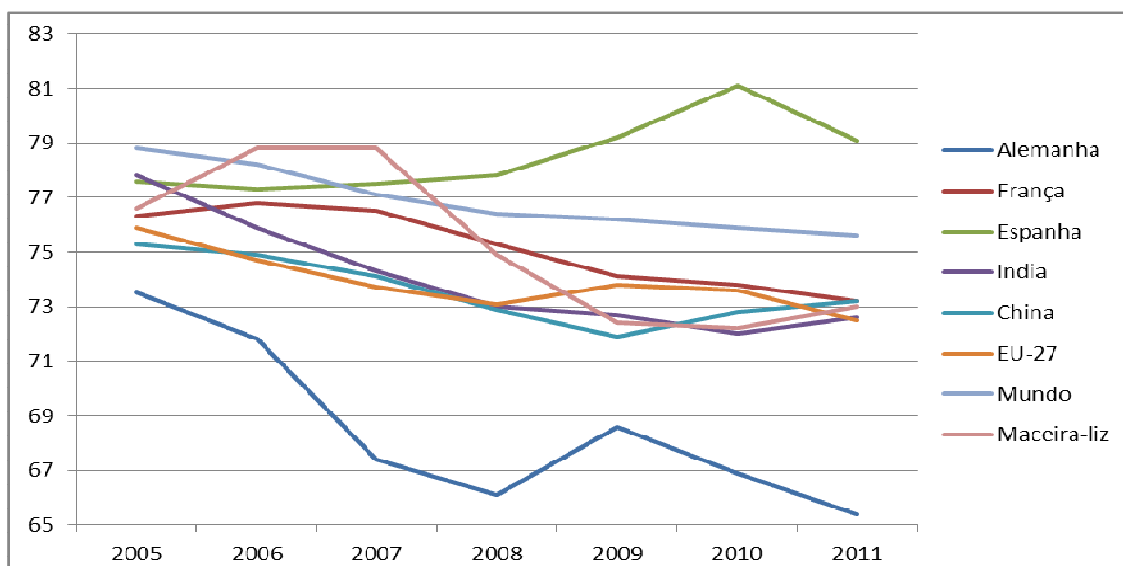


Gráfico 5.4 – Comparativo da taxa de incorporação de clínquer no cimento

A Secil é membro da Cement Sustainability Initiative (CSI), estando comprometida, não só a atingir os seus próprios objectivos, mas também as metas e objetivos da CSI. Com vista a tornar o grupo Secil mais competitivo, foram traçados objetivos ainda mais ambiciosos a serem atingidos em 2015, nomeadamente ao nível da redução do consumo de energia térmica e de energia elétrica, e também passando pelo aumento da utilização de combustíveis alternativos.

Quadro 5.1 – Objetivos da Cement Sustainability Initiative (CSI)

|                                      | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Taxa de incorporação de clínquer (%) | 77   | 74   | 73   | 72   | 71   |
| Uso de combustíveis alternativos (%) | 5    | 12   | 23   | 30   | 37   |
| Consumo energético (GJ/ton clínquer) | 3,9  | 3,6  | 3,4  | 3,3  | 3,2  |

Quadro 5.2 – Dados correntes e objetivos Secil para 2015

|                                     | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | Meta<br>Secil<br>2015 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| Energia Térmica/C clínquer (GJ/ton) | 3,6  | 3,7  | 3,8  | 3,6  | 3,6  | 3,9  | 3,6  | 3,2                   |
| Energia Elétrica/Cimento (kWh/ton)  | 95   | 104  | 100  | 106  | 116  | 113  | 115  | 90                    |
| Combustíveis Alternativos (%)       | 12   | 9    | 8    | 9    | 16   | 35   | 39   | 70                    |

Para melhorar os valores atuais e conseguir atingir os objetivos traçados, foram identificadas oportunidades de melhoria na eficiência energética da empresa. Para o efeito foram criadas equipas, geralmente envolvendo 3 quadros da empresa em cada um deles, para trabalhar em cada ponto detetado como oportunidade de melhoria. Assim, foram identificadas as seguintes oportunidades, e actividades necessárias à sua execução, para serem iniciadas em 2013:

- Aumento do consumo de combustíveis alternativos
  - ✓ Estabelecer objetivos para o aumento no uso de combustíveis alternativos, em alinhamento com a implementação de um sistema de by-pass para redução dos níveis de cloro na torre de ciclones (projetado para entrar em funcionamento em 2013)
  - ✓ Planear visitas a outras empresas semelhantes, que já incorporem no seu sistema de fabrico, superiores quantidades de combustíveis alternativos
  - ✓ Fazer acompanhamento da implementação e dos resultados das medidas tomadas
- Estudo de projeto integrado para a recuperação de calor, instalação de uma unidade de gaseificação e aproveitamento do calor do arrefecedor de grelhas
  - ✓ Contatar fornecedores para avaliar as opções e os requisitos de investimento
  - ✓ Estabelecer opções de tecnologia
  - ✓ Avaliar as restrições do espaço
  - ✓ Avaliar o apoio financeiro através de programas da UE (inovação)
- Avaliar a melhor opção económica para o processo de secagem de CDR: na fábrica versus instalação externa

- ✓ Definir os requisitos do processo de secagem de CDR - dimensionamento, redução de humidade
- ✓ Estimativa de investimentos e custos para o processo de secagem de CDR para ambos os cenários, na empresa ou nas instalações dos fornecedores
- ✓ Estimar os impactos positivos de CDR com menor teor de humidade e os incentivos atuais atribuídos aos fornecedores
- ✓ Aceder à distribuição geográfica esperada do mercado de CDR, os contratos atuais e o fornecimento direto a cada fábrica no âmbito da Gestão Ambiental e Valorização Energética, a fim de definir uma solução geral para a secagem de CDR
- Introduzir novo separador nas Moagens de Cru, de última geração e alta eficiência
  - ✓ Definir especificações de alto nível
  - ✓ Contatar fornecedores para avaliar as necessidades de investimento
- Introdução de Pré-calcinador num dos fornos (opção para futura melhoria da produção)
  - ✓ Derivar investimento / impacto de projetos anteriores
  - ✓ Considerar o mesmo nível de produção (e capacidade de forno)
  - ✓ Introduzir uma nova tecnologia de moagem: separadores de alta eficiência vs prensa de rolos vs moinho de rolos vertical
  - ✓ Recolher contribuições de tecnologias semelhantes implementadas noutras fábricas
  - ✓ Contatar fornecedores para avaliar os custos de investimento e manutenção contra benefícios (com base na meta de produção definida)
  - ✓ Considerar o mesmo nível de produção
- Optimizar o consumo de energia elétrica e utilização de equipamentos (Limitar o consumo de energia de equipamentos não produtivos, analisar o melhor compromisso entre intensidade e horas de trabalho em equipamentos selecionados, otimizar os tempos dos ciclos de limpeza dos filtros de mangas, melhorar a eficiência dos filtros de mangas através de programadores com  $\Delta p$ , definir diretrizes estabelecendo políticas para a substituição/aquisição de equipamentos)

- ✓ Preparar / recolher lista de equipamentos
- ✓ Desenvolver curvas ABC do consumo de energia (para determinar a utilização mais económica) / potência dos equipamentos instalados
- ✓ Para os principais sistemas:
  - Avaliar a capacidade instalada vs necessidades
  - Avaliar o perfil de horas de trabalho vs perfil capacidade utilizada
  - Avaliar o potencial de optimização (modificações da capacidade instalada e os parâmetros de programação para a utilização dos equipamentos)
- ✓ Definir diretrizes para a substituição de equipamentos / aquisição
- Introduzir equipamentos mais eficientes (implementar motores de alta eficiência -IE3, implementar acionamentos de velocidade variável, introduzir sistemas de ventilação / ventiladores mais eficientes)
  - ✓ Preparar / recolher lista de equipamentos (motores, ventiladores, VEV)
  - ✓ Para os principais sistemas:
    - Avaliar a capacidade instalada e as necessidades (motores e ventiladores)
    - Avaliar a existência de VEV
    - Avaliar o potencial de otimização (modificações capacidade instalada, VEV, a substituição por equipamentos de alta eficiência)
  - ✓ Definir diretrizes para a substituição de equipamentos / aquisição
- Optimizar periodicidade dos saldos de energia térmica e energia eléctrica (sistemas de moagem)
  - ✓ Estabelecer regra / procedimento - por exemplo, auditorias térmicas realizadas a cada três anos
- Introduzir sistemas de transporte eficientes (mecânica vs pneumática)
  - ✓ Atualizar estratégia de mercado levando em consideração o novo preço da energia
  - ✓ Rever as opções alternativas para a redução de investimento

- Optimizar gestão de consumos de eletricidade e rede de iluminação (aumentar o número de medidores de eletricidade e melhorar a gestão e monitorização integrada – desde a contagem até à análise, introduzir gestão automática na iluminação, reduzir a iluminação - por exemplo, na torre de ciclones, introdução de tecnologia LED, substituir balastros magnéticos por balastros electrónicos)
  - ✓ Sistema de medição:
    - Realizar uma ampla avaliação de novas oportunidades para a melhoria da eficiência no consumo
    - Mapear e analisar sistemas de medição da fábrica por sub-sistema
      - Identificar a localização dos medidores e o âmbito da aplicação
      - Avaliar metodologias de medição - por exemplo, fórmulas
    - Avaliar o potencial de optimização (aquisição de novos medidores, e adotar metodologias consistentes entre as três fábricas do grupo em Portugal)
  - ✓ Optimização da iluminação
    - Estender projeto de parceria com a EDP à fábrica de Maceira e de Pataias
    - Realizar uma ampla avaliação de novas oportunidades para a melhoria da eficiência no consumo
- Optimizar as redes de ar comprimido
  - ✓ Definir o âmbito e requerer avaliação externa da rede de ar comprimido
- Optimizar a rede de águas e a sua gestão
  - ✓ Realizar uma ampla avaliação sobre as oportunidades de melhoria de eficiência
  - ✓ Analisar oportunidades de substituir as bombas de água antigas, por bombas mais eficientes
  - ✓ Analisar oportunidades para optimizar os ciclos de bombagem (evitar horas de ponta)
- Rever outras possibilidades para a geração de eletricidade – energia fotovoltaica

- ✓ Executar o cálculo de paybacks da tecnologia atual em relação às últimas revisões de subsídios públicos

As iniciativas selecionadas para serem implementadas têm uma redução estimada de cerca de 36 kWh/ton de cimento até 2015, o que faria a empresa de Maceira-Liz ficar com valores de consumo de energia elétrica de aproximadamente 80 kWh/ton cim, valor dentro do objetivo da Secil.

## **6. Conclusão**

---

O esforço da empresa em aplicar medidas de racionalização de energia tem sido notório ao longo dos últimos anos, tendo sido abrangidas várias áreas, desde a escolha dos combustíveis mais adequados, aos sistemas de produção mais evoluídos ou aos equipamentos cada vez mais eficientes, nunca descurando a qualidade do produto final.

Num mercado nacional cada vez mais condicionado, o futuro e sobrevivência das empresas nacionais passam cada vez mais pelos mercados além-fronteiras, sendo estes cada vez mais procurados e muito competitivos, onde só as empresas melhor preparadas poderão sobreviver.

A fábrica de Maceira-Liz apesar dos esforços desenvolvidos nos últimos anos ainda tem uma margem de melhoria significativa, principalmente no que diz respeito aos objetivos do grupo Secil onde está inserida.

O consumo específico de energia térmica tem aumentado nos últimos anos, fruto da cada vez maior utilização de combustíveis alternativos, que comparativamente com os combustíveis de origem fóssil, têm um menor rendimento energético. As características dos combustíveis alternativos, e a sua influência no processo, é outra condicionante para que o consumo de energia térmica reduza. A alta volatibilidade deste tipo de combustível origina que a sua queima seja feita numa zona diferente do forno, elevando as temperaturas na parte final deste e na torre de ciclones. Estas temperaturas levam a que um conjunto de materiais presentes no combustível, tais com sulfatos e cloretos de sódio e potássio (alcalis) sejam volatilizados e arrastados pelos gases para a entrada do forno. Ao encontrarem temperaturas mais baixas, da ordem dos 800 °C, estas substâncias alcalinas condensam, sendo arrastadas novamente para o interior do forno. Esta condensação por vezes ocorre na torre de ciclones do pré-aquecedor e não no interior do forno, originando uma acumulação de alcali encrostado que entope os ciclones e que obriga a medidas de desencrostamento causando a paragem da linha de produção. Estas paragens têm sido frequentes o que leva a um elevado dispendio de energia

térmica no arrefecimento e aquecimento do forno. A instalação do sistema de by-pass para redução dos níveis de cloro na torre de ciclones será um importante contribuinte para a redução dos valores do consumo específico de energia térmica. Ainda assim, é notório um abrandamento no consumo de energia térmica, resultado da melhor adaptação da empresa a esta nova realidade, adequando os processos de forma cada vez mais eficiente. É de salientar o facto de em termos de consumo de combustíveis alternativos, a fábrica de Maceira-Liz se encontrar no caminho certo, com o aumento contínuo do consumo, atingindo já valores muito satisfatórios, com a meta dos 70% como objetivo. Ainda assim é necessário adequar o processo e os meios à queima destes combustíveis levando à redução das paragens intempestivas dos fornos. A queda da produção também é uma das causas do aumento deste consumo de energia, visto os fornos não se encontrarem sempre a trabalhar em plena carga, devido ao enchimento do silo de armazenamento do clínquer.

Apesar das medidas implementadas, o consumo de energia elétrica também aumentou nos últimos anos, devido principalmente ao maior número de instalações (combustíveis alternativos), e de uma maior solicitação dos mercados para cimentos de mais elevada resistência, que exigem maior quantidade de energia no processo de moagem.

A mudança progressiva dos motores para eficiência IE3, principalmente em ventiladores de funcionamento permanente, aliada ao possível redimensionamento do caudal e potência dos mesmos, poderão resultar numa poupança significativa no consumo de energia elétrica.

A iluminação apesar de apresentar uma baixa de consumo de energia, ainda tem muita margem de melhoria, não só pela possível utilização de tecnologias mais económicas, mas principalmente passará por seccionar os circuitos. O seccionamento dos circuitos, por pisos, e por zonas, por exemplo, poderá permitir desligar os circuitos que presentemente se encontram sempre ligados, através de um interruptor, deixando apenas a iluminação de emergência ligada para a passagem de pessoas.

A taxa de incorporação de clínquer no cimento tem mostrado valores acima dos objetivos da própria empresa, isto apesar dos esforços em promover os cimentos compostos do tipo II em substituição dos cimentos do tipo I. Esta medida resulta numa menor intensidade de carbono do produto e uma redução do consumo de energia elétrica na operação de moagem.

A produção de cimento atingiu valores que só recuando até 1973 é que se encontra paralelo, revelando que o setor em Portugal e na Europa enfrenta dificuldades. As seis empresas de

produção de cimento em Portugal estão claramente em excesso, o mesmo se passando na Europa, o que significa a paragem de muitos dos fornos em actividade.

Apesar dos resultados da empresa se encontrarem, em muitos casos, dentro dos valores médios europeus e mundiais, existe uma margem de melhoria da eficiência energética notória, principalmente quando comparados com os valores de países como a Alemanha, que apresenta os melhores resultados. As medidas do Plano de Racionalização de Consumo de Energia delineado para o período 2005-2010, que foram efetuadas na empresa, trouxeram melhorias significativas na eficiência energética, mas não se podem considerar suficientes. É necessária uma aprendizagem sobre o que se faz de melhor, principalmente na Europa, para poder atingir e, até mesmo, ultrapassar os objetivos a que a empresa e o grupo Secil se propõem para os próximos anos. A identificação das oportunidades de melhoria e racionalização de energia, já é fruto dessa aprendizagem e a sua possível implementação nos anos mais próximos poderam dar à empresa um aumento considerável no diz respeito ao desempenho energético. Fazer o mesmo que os melhores poderá não ser suficiente, pois estes já conquistaram muitos dos mercados consumidores, resultado da sua eficiência e conseqüente margem negocial, apresentando preços que muitos competidores não conseguem atingir. Também estão a ser construídas novas fábricas principalmente em Africa e na América Latina o que limitará ainda mais o acesso a esses mercados.

Considera-se assim urgente a análise e adoção de medidas de racionalização de energia e de melhoria no processo de fabrico já identificadas, que coloquem a fábrica de Maceira-Liz ao lado dos melhores possibilitando a sua sobrevivência numa fase tão conturbada para a indústria cimenteira.



## ***Bibliografia***

---

Basel Convention (2011) – “Technical guidelines on the environmentally sound co-processing of hazardous wastes in cement kilns”. Disponível em:

<http://www.basel.int/Implementation/TechnicalMatters/DevelopmentofTechnicalGuidelines/AdoptedTechnicalGuidelines/tabid/2376/Default.aspx>

CEMBUREAU (1999). The European Cement Association - “Environmental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement Production: A life cycle approach”. Disponível em:

<http://www.cembureau.be/library/cembureau-publications>

CEMBUREAU (2006). The European Cement Association – “Cembureau contribution to the cement & lime BREF revision, Specific energy consumption”. Disponível em:

[http://setis.ec.europa.eu/system/files/Efficiency\\_EmissionReduction\\_Industry.pdf](http://setis.ec.europa.eu/system/files/Efficiency_EmissionReduction_Industry.pdf).

CEMBUREAU (2009). The European Cement Association - “Activity report 2008”. [Consult. 04 Abril 2013]. Disponível em:

<http://www.cembureau.be/Documents/Publications/Activity%20Report%202008.pdf>.

CEMBUREAU (2009). The European Cement Association - “Sustainable Cement Production: Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials in the European Cement Industry”. Disponível em: <http://www.cembureau.be/sustainable-cement-production-co-processing-alternative-fuels-and-raw-materials-cement-industry>

CEMBUREAU (2013). The European Cement Association - "The Cement Sector: a Strategic Contributor to Europe's Future". [Consult. 18 Julho 2013]. Disponível em:

[http://www.cembureau.eu/sites/default/files/category\\_pictures/AR2012.pdf](http://www.cembureau.eu/sites/default/files/category_pictures/AR2012.pdf).

Comissão Europeia (2006). “Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants”, Julho 2006. [Consult. 25 Março 2013]. Disponível em:

[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp\\_bref\\_0706.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf).

Comissão Europeia (2008). European Commission - “Directorate-General for Energy and Transport, European Energy and Transport Trends to 2030 - Update 2007”. [Consult. 18 Dezembro 2012]. Disponível em:

[http://www.e3mlab.ntua.gr/reports/energy\\_transport\\_trends\\_2030\\_update\\_2007\\_en.pdf](http://www.e3mlab.ntua.gr/reports/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf).

Comissão Europeia (2012). “Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime, and Magnesium Oxide Manufacturing Industries”. [Consult. 15 Março 2013]. Disponível em: [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/clm\\_bref\\_0510.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/clm_bref_0510.pdf).

CSI (2009). The Cement Sustainability Initiative – “Cement Industry Energy and CO2 Performance - Getting the Numbers Right”. [Consult. 12 Março 2013]. Disponível em: <http://www.wbcscement.org/index.php/key-issues/climate-protection/gnr-database>.

Despacho ERSE n.º 25 101-E/2003, de 31 de Dezembro.

DGEG (2000). Direcção Geral de Energia e Geologia – “A gestão de energia e o regulamento de gestão do consumo de energia (R.G.C.E.)”, Lisboa. Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>

EIPPCB (2010). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau – “Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries”, Comissão Europeia. Disponível em: <http://eippcb.jrc.es/reference/cl.html>

ERSE (2010). Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos – “Procedimento do sistema de comunicações, execução e controlo do serviço de interruptibilidade”, Dezembro 2010.

FEPICOP (2013). Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas. 04 Fevereiro 2013. [Consult. 15 Maio 2013]. Disponível em : <http://www.fepicop.pt/index.php?id=37&tbl=noticias>.

Francis, A.J. (1977). “The Cement Industry 1796–1914: A History”. Newton Abbot, Inglaterra; North Pomfret, Vermont, EUA: David & Charles.

Genon, G.; E. Brizio. (2008) - “Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF”, Waste Management, Vol. 28, no. 11, pp. 2375- 2385.

GTZ/Holcim (2006) – “Guidelines on Co-Processing Waste Materials in Cement Production”. Disponível em: [http://www.coprocem.com/trainingkit/documents/diverse/guideline\\_coprocem\\_v06-06.pdf](http://www.coprocem.com/trainingkit/documents/diverse/guideline_coprocem_v06-06.pdf)

Karstensen, K.H. (2007) – “A Literature Review on Co-processing of Alternative Fuels and Raw Materials and Hazardous Wastes in Cement Kilns”. Disponível em: <http://www.environment.gov.za/PolLeg/GenPolicy/2008Sep25/cement.html>.

Koppejan, J.; Zeevalkink, J.A. (2002) – “The calorific value as a criterion for waste recovery in the cement industry”. TNO-Report R 2002/325. TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research. Disponível em: <http://www.coprocem.com/documents/energy-rapport-2002-325lhv-cement.pdf>

Maringolo, V. (2001) – “Clínquer co-processado: produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento”, Tese de doutoramento – Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo.

Murray, A.; Price, L. (2008) – “Use of Alternative Fuels in Cement Manufacture: Analysis of Fuel Characteristics and Feasibility for Use in the Chinese Cement Sector”. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Departamento de Energia dos EUA. Disponível em: <http://china.lbl.gov/sites/all/files/lbl-525e-alternative-fuels-cementjune-2008.pdf>.

Novais, J. M. A., “Ar Comprimido Industrial”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1995.

NP EN 197-1. Abril de 2001, Cimento – Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes. Instituto Português da Qualidade. Caparica

PNGR (2011). “Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020”, Lisboa, 26 de Maio de 2011. Disponível em: [http://www.apambiente.pt/cms/view/page\\_doc.php?id=10](http://www.apambiente.pt/cms/view/page_doc.php?id=10).

REA (2007). Agência Portuguesa do Ambiente – “REA 2007 Portugal, Relatório do estado do ambiente”. Disponível em : <http://sniamb.apambiente.pt/docs/REA/rea2007.pdf>

Secil (2011). “Gestão de Resíduos no Grupo SECIL”, Jornadas de Engenharia do Ambiente – IST Lisboa, 16 fevereiro 2011.

Secil (2012). “Declaração Ambiental 2011– Fábrica de Maceira-Liz”, Disponível em [http://www.secil.pt/default.asp?pag=cert\\_amb](http://www.secil.pt/default.asp?pag=cert_amb).

SNIC (2013). Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – “Press kit, Agosto 2013”. [Consult. 20 Junho 2013]. Disponível em WWW:URL: [http://www.snic.org.br/pdf/presskit\\_SNIC\\_2013.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2013.pdf).

Taylor, M.; Tam, C.; Gielen, D. (2006) – “Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions from the Global Cement Industry”, Documento preparado para IEA-WBCSD workshop: Eficiência energética e CO<sub>2</sub>, Paris, 4 e 5 Setembro 2006. Disponível em: [http://www.iea.org/Textbase/work/2006/cement/taylor\\_background.pdf](http://www.iea.org/Textbase/work/2006/cement/taylor_background.pdf).

USEPA (2006). U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation – “Life Cycle Assessment: Principles and Practice”, EPA/600/R-06/060. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>

USEPA (2010). U.S. Environmental Protection Agency – “Energy recovery from waste”. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/wte/index.htm>

USEPA (2012). U.S. Environmental Protection Agency – “Cement Manufacturing Enforcement Initiative”. Disponível em: <http://www.epa.gov/compliance/civil/caa/cement/index.html>

WBCSD (2005). World Business Council for Sustainable Development – “Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process”. Disponível em: <http://www.wbcscement.org/index.php/publications>

WBCSD/CSI, ECRA (2009). World Business Council for Sustainable Development/Cement Sustainability Initiative - European Cement Research Academy – “Development of State-of-the-Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead”, Düsseldorf, Geneva.

Young, J. S. (1955). "A brief outline of the history of cement". Michigan, EUA: Lehigh Portland Cement Co., 1955.