

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria do Rosário Dias Costa Leite de Castro

**Projeto de sistema logístico para suporte de
processo de valorização de resíduos – o caso
da LIPOR**

Abril de 2021



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Maria do Rosário Dias Costa Leite de Castro

**Projeto de sistema logístico para suporte
de processo de valorização de resíduos – o
caso da LIPOR**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Maria do Sameiro Faria Brandão Soares de Carvalho

Abril de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação não teria sido possível sem a oportunidade oferecida pela Lipor e pela minha orientadora na mesma, a Doutora Nadine Sousa, pelo que lhes devo um agradecimento especial.

De seguida, mas não menos importante, queria agradecer à Professora Doutora Maria do Sameiro Carvalho pela orientação e ajuda ao longo de todo o processo de investigação e redação da dissertação. Um muito obrigado, também, à Professora Doutora Paula Ferreira.

À CIMPOR e à ANIPB pela disponibilidade e celeridade nas respostas às minhas questões.

Finalmente, agradeço à minha família, em especial pais e irmãos, e amigos pelo apoio, ajuda e motivação ao longo deste ano.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo de Logística e Distribuição, resulta do trabalho conjunto com a Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto.

O trabalho realizado insere-se num estudo de viabilidade de um projeto da Lipor de valorização de escórias resultantes da incineração de resíduos urbanos indiferenciados. O projeto pretende transformar as escórias num produto substituto do cimento com vista à redução da sua colocação em aterro e à diminuição do consumo de cimento, cuja produção implica um grande impacto no ambiente. O objetivo da dissertação é a criação de uma proposta para um sistema logístico eficiente de suporte ao processo de valorização das escórias, apoiado pela metodologia de investigação de estudo de caso.

Com base na revisão da literatura foi possível identificar alguns dos desafios associados à criação de um sistema logístico para produtos de baixo valor e compreender os procedimentos logísticos utilizados na indústria do cimento. Foi desenvolvida uma metodologia, baseada na criação de cenários, de suporte ao desenho de um sistema logístico, que tem por base as características do produto e da cadeia de abastecimento. Diferentes soluções logísticas são exploradas com recurso à análise de cenários.

Da aplicação da metodologia ao caso de estudo destacam-se como principais resultados: a identificação dos elementos constituintes da cadeia de abastecimento; a definição da tipologia de produto/embalagem e da proposta de estratégia de cadeia de abastecimento/produção; o cálculo de necessidades e capacidades nas operações logísticas de transporte interno, armazenamento e distribuição.

A análise de cenários permitiu avaliar o impacto de diferentes condições de mercado nos diversos pontos da cadeia de abastecimento do projeto e analisar as diferentes estratégias de operação de forma a poder discutir-se os benefícios e custos das várias alternativas.

PALAVRAS-CHAVE

Cadeia de abastecimento, Cimento, Escórias, Sistema Logístico, Valorização de resíduos

ABSTRACT

This dissertation, developed as part of the Masters in Industrial Engineering - Branch of Logistics and Distribution, results from the joint work with Lipor - Intermunicipal Service for Waste Management in Porto.

The work carried out is part of a feasibility study for a Lipor project for the recovery of slag resulting from the incineration of undifferentiated solid waste. The project aims to transform the slag into a substitute product for cement with the aim to reduce waste in landfills and reduce cement consumption, whose production has a major impact on the environment. The objective of the dissertation is to create a proposal for an efficient logistic system to support the process of valorisation of slag, supported by a case study methodology.

Based on the literature review, it was possible to identify some of the challenges associated with creating a logistical system for low-value products and to understand the logistical procedures used in the cement industry. A methodology was developed to support the design of a logistical system, based on the creation of scenarios, which is based on the characteristics of the product and the supply chain. Different logistical solutions are explored using scenario analysis.

From the application of the methodology to the case study, the following were the main achieved results: the identification of the constituent elements of the supply chain; the definition of the type of product/packaging and the proposed supply chain/production strategy; the calculation of needs and capacities in logistics operations for internal transport, storage and distribution.

The analysis of scenarios made it possible to assess the impact of different market conditions on the various points of the project's supply chain and to analyse the different operating strategies in order to be able to discuss the benefits and costs of the various alternatives.

KEYWORDS

Supply Chain Design, Cement, Slag, Logistic System, Waste Recovery

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo.....	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação	4
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2. Revisão Crítica da Literatura	6
2.1 Economia Circular	6
2.1.1 Economia Circular na Valorização de Escórias de Incineração de Resíduos Urbanos	8
2.2 Logística de produtos de baixo valor	11
2.3 Cadeia de abastecimento do cimento.....	13
2.3.1 Cadeia de abastecimento.....	13
2.3.2 A cadeia de abastecimento da indústria do cimento	14
2.4 Análise Crítica	23
3. Caso de estudo.....	26
3.1 A Lipor.....	26
3.1.1 Missão, Visão e Valores.....	26
3.1.2 Identificação e Localização.....	26
3.1.3 Atividade.....	27
3.2 Novo projeto – Projeto de Valorização das Escórias.....	28

3.3	Descrição e análise do sistema logístico existente na CVE.....	29
3.3.1	Processo de Incineração dos RUI e formação das escórias.....	29
3.3.2	Destino final atual das escórias.....	33
4.	Metodologia.....	36
4.1	Definição do portfólio do produto e do processo produtivo	37
4.2	Definição da cadeia de abastecimento.....	38
4.3	Definição dos processos logísticos	39
4.4	Desenho e análise de cenários	40
5.	Proposta de Sistema Logístico para o Projeto de Valorização das Escórias	42
5.1	Definição do portfólio do Produto	43
5.1.1	Características físicas.....	43
5.1.2	Mercado	44
5.1.3	Variedade	45
5.1.4	Tipo de Produto.....	46
5.2	Processo produtivo.....	46
5.2.1	Fornecedores.....	46
5.2.2	Capacidade produtiva	46
5.2.3	Tempo de Aprovisionamento.....	47
5.3	Definição da Cadeia de Abastecimento.....	48
5.4	Definição dos processos logísticos - Armazenagem.....	49
5.4.1	Requisitos	50
5.4.2	Tipos de embalagem e formas de armazenamento	50
5.4.3	Local e dimensão do armazém.....	50
5.4.4	Estratégia de movimentação do <i>stock</i>	51
5.4.5	Mão-de-obra	52
5.5	Definição dos processos logísticos - Transporte	52
5.5.1	Requisitos	52
5.5.2	Modos e veículos de transporte.....	53
5.5.3	Estratégia.....	54

5.6	Sistemas de Informação	54
5.7	Análise de Cenários.....	54
5.7.1	Unidade de manuseamento das escórias micronizadas	55
5.7.2	Armazenamento das escórias micronizadas em silos	58
5.7.3	Mão-de-obra	59
5.7.4	Transporte entre a CVE e a planta de tratamento das escórias	60
5.7.5	Transporte das escórias micronizadas para os clientes	63
5.8	Síntese.....	64
6.	Conclusões e Trabalho Futuro	67
6.1	Introdução	67
6.2	Contribuições.....	69
6.3	Trabalho Futuro	71
	Apêndice 1 - Análise de Mercado das escórias micronizadas.....	73
	Apêndice 2 - Inquérito às empresas de pré-fabricados de betão.....	77
	Apêndice 3 - Análise do inquérito	80
	Apêndice 4 - Dados dos <i>big bags</i>	86
	Apêndice 5 – Análise de custo dos <i>big bags</i>	87
	Apêndice 6 – Cenários de Procura de escórias micronizadas	88
	Apêndice 7 – Análise do VP das duas opções de transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento das mesmas	89
	Anexo 1 – Declaração de autorização do uso das fotografias tiradas nas instalações da Lipor	93
	Referências Bibliográficas	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia de abastecimento do cimento.....	18
Figura 2 - Estratégias GTO, PTO, MTO de cadeia de abastecimento do cimento.....	19
Figura 3 - Cadeia de Abastecimento atual da CVE	30
Figura 4 - Fossa de deposição de RUI. A) Deposição dos RUI na fossa; B) Pólipo de garras e RUI (Declaração de autorização do uso das fotografias no Anexo 1).....	31
Figura 5 - Fotografias de: A) Crivo; B) Fossa de metais ferrosos; C) Fossa de escórias sem 70/80 % de metais ferrosos (Declaração de autorização do uso das fotografias no Anexo 1).....	32
Figura 6 - Local de armazenamento das escórias e metais ferrosos. A) Pólipos de garras; B) Perspetiva do acesso dos camiões, tremonhas e fossas.....	34
Figura 7 - Ilustração da CVE.....	35
Figura 8 - Framework para o desenho da cadeia de abastecimento do projeto de valorização das escórias	36
Figura 9 - Cadeia de Abastecimento do novo projeto de Valorização das Escórias	42
Figura 10 - Tipos de embalagem. A) Sacos de papel industriais; B) Big bags.....	50
Figura 11 - Exemplo de layout de armazenamento na planta de inertização das cinzas	58
Figura 12 - Evolução do PIB português entre 1990 e 2019 (%).....	74
Figura 13 - Gráfico das taxas de crescimento das vendas de cimento em Portugal entre os anos de 1991 e 2019	75
Figura 14 - Gráfico caixa de bigodes dos volumes anuais médios encomendados	82
Figura 15 - Gráfico circular de frequências das respostas dos inquiridos sobre a regularidade das encomendas.....	83
Figura 16 - Gráfico de frequências das respostas à questão sobre a uniformidade das quantidades encomendadas	83
Figura 17 – Gráfico de frequências da uniformidade das quantidades encomendadas (corrigido).....	84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da revisão de literatura relativa à CA do cimento	25
Tabela 2 – Capacidades de incineração de resíduos e produção de escórias	33
Tabela 3 - Parâmetros a considerar na análise do produto	37
Tabela 4 - Parâmetros a considerar na análise do processo produtivo	38
Tabela 5 - Características da cadeia de abastecimento a definir.....	38
Tabela 6 - Parâmetros da armazenagem	39
Tabela 7 - Parâmetros do transporte	40
Tabela 8 - Parâmetros a considerar na análise dos sistemas de informação	40
Tabela 9 - Capacidade produtiva do processo de tratamento das escórias	47
Tabela 10 - Comparação de características entre CA lean e CA ágil (Adaptado de: Christopher & Towill (2001))	49
Tabela 11 - Custo Total para cada tipo de Big bag com saia de enchimento	57
Tabela 12 - Preços de empilhadores elétricos novos de três fornecedores diferentes	57
Tabela 13 - Orçamentos de quatro fornecedores diferentes para empilhadores usados.....	58
Tabela 14 – Dimensões e custo do silo orçamentado.....	59
Tabela 15 - Quadro síntese dos VP das duas opções com taxa de desconto de 7,7%, consoante o cenário da procura	62
Tabela 16 - Quadro síntese dos VP das duas opções taxa de desconto de 5%, consoante o cenário da procura	62
Tabela 17 - Custo de outsourcing de serviço de transporte para clientes.....	64
Tabela 18 - Síntese de cenários de armazenagem e respetivos custos.....	70
Tabela 19 - Síntese de cenários para as diferentes necessidades de transporte e respetivos custos.....	71
Tabela 20- Respostas dos inquiridos às questões da Secção 1.....	81
Tabela 21 - Dimensões e preços unitários dos big bags, obtidos a partir de pedidos de orçamentos às empresas: Plastiagro, Eurogrip e João Violas, Filho.	86
Tabela 22 - Dados e cálculos necessários para a perceção do espaço de armazenagem ocupado e custo total de cada tipo de big bag com saia de enchimento.....	87

Tabela 23 - Cálculo do espaço de armazenagem ocupado por cada tipo de big bag com saia de enchimento por quantidade procurada semanalmente.....	87
Tabela 24 - Cenários de quantidades procuradas de escórias micronizadas anualmente	88
Tabela 25 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 1 da Procura	89
Tabela 26 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 2 da Procura	90
Tabela 27 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 3 da Procura	91
Tabela 28 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 4 da Procura	92

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AEIRU – Agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos

ANIPB – Associação Nacional dos Industriais de Prefabricação em Betão

ATO – *Assemble-to-Order*

BTS – *Build-to-Stock*

CA – Cadeia de Abastecimento

CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*

CVE – Central de Valorização Energética

EU – União Europeia

FIFO – *First In, First Out*

GTO – *Grind-to-Order*

IVA – Imposto sobre Valor Acrescentado

LIFO – *Last In, First Out*

MTO – *Make-to-Order*

MTS – *Make-to-Stock*

PTO – *Pack-to-Order*

RUI – Resíduos Urbanos Indiferenciados

RU – Resíduos Urbanos

SCOR - *Supply-Chain Operations Reference model*

SI – Sistemas de Informação

SKU – *Stock Keeping Unit*

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o enquadramento, objetivos, metodologia de investigação e estrutura da dissertação com o tema “Projeto de sistema logístico para suporte de processo de valorização de resíduos – o caso da LIPOR”.

1.1 Enquadramento

É do conhecimento geral que a população mundial cresceu exponencialmente nos últimos séculos. Aliado a este crescimento veio o aumento do consumo de recursos naturais de forma a dar resposta à crescente quantidade procurada de bens. Nos últimos 150 anos, com o desenvolvimento da produção em massa, adotou-se um modelo de economia linear de “extrair, produzir, descartar” que nos levou a uma situação de *“sobrecarga ecológica”* (Weetman, 2017) e escassez de recursos. De facto, esta *“é uma realidade cada vez mais próxima, e a crescente inovação tecnológica e de materiais também tem os seus malefícios, como a criação de materiais mais complexos e de mais difícil separação e descarte”* que acabam por ir para aterros ou incineradoras (Amaral, 2018). Com efeito, os níveis de resíduos e material incinerado que chegam aos aterros são crescentes e preocupantes. Assim, torna-se cada vez mais necessário adotar um comportamento de Economia Circular que, segundo Amaral (2018), ao aproveitar materiais e produtos rejeitados, reduz as quantidades necessárias de matéria no fabrico de um produto novo.

A Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos Urbanos do Grande Porto – tem como compromisso adotar uma Economia Circular e é responsável pela gestão, tratamento e valorização dos Resíduos Urbanos (RU), através da triagem de materiais recicláveis e da compostagem de resíduos biodegradáveis; os resíduos que não são reciclados nem utilizados na compostagem são incinerados para produção de energia elétrica que é injetada na rede de distribuição elétrica do país. No entanto, desta última atividade resultam escórias, ou cinzas de fundo da fornalha. Anualmente, nos municípios abrangidos pela Lipor, a produção deste resíduo atinge uma quantidade bruta de cerca de 70 mil toneladas, que corresponde a 200 kg por cada tonelada de RU. Atualmente as escórias são depositadas em aterro sem qualquer tipo de tratamento ou, pontualmente, utilizadas internamente pela Lipor na realização de acessos e caminhos e, quando necessário, na cobertura dos aterros sanitários. Segundo

Abdullah *et al.* (2019), o uso de escórias não está limitado ao seu estado bruto, como é utilizado neste momento pela Lipor, podendo ser misturado e modificado para aplicações avançadas sem negligenciar os impactos no ambiente. De acordo com Niessen (2002), citado por Elias (2017, pp. 18), *“este procedimento apresenta uma panóplia de benefícios, nomeadamente, uma redução do volume de resíduo, eliminação de possíveis agentes patogénicos e, mitigação dos impactes ambientais derivados das emissões de gases produzidos durante a incineração quando comparativamente aos emitidos em aterro”*.

Neste momento já existem projetos de aproveitamento de escórias, como é o caso da VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S.A., que produz e aplica agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos (AEIRU) em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários. Após o tratamento das cinzas de fundo da fornalha, estas são transformadas em AEIRU que podem ser aplicados isoladamente ou após recomposição com agregados naturais.

Com efeito, como forma de respeitar o conceito de Economia Circular, muito presente na Lipor, esta propôs-se, em conjunto com várias Universidades, a desenvolver estudos para a Valorização das Escórias como forma de ver reduzidas as quantidades deste resíduo que vão para aterro e, também, de gerar receita ao criar produtos interessantes para o mercado.

De forma a serem utilizadas para fins comerciais, a Lipor está a avaliar a possibilidade de implementar um processo a jusante do processo atual, para remoção de metais ferrosos e não ferrosos e micronização das escórias para posterior utilização para diversos fins. Inicialmente, com este projeto, a Lipor pretende transformar as escórias num produto substituto de cimento composto maioritariamente por escórias micronizadas para, também, de certa forma, contribuir para a mitigação dos impactos que o cimento tem no ambiente. De facto, se a indústria do cimento fosse um país, seria o terceiro mais poluidor do mundo, a seguir à China e aos Estados Unidos da América (Watts, 2019), devido ao seu elevado consumo de energia. Deste modo, torna-se urgente encontrar soluções que reduzam o impacto da indústria do cimento no ambiente.

A adoção desta nova solução irá envolver novos desafios de natureza logística que incluem novos procedimentos e infraestruturas logísticas para garantir uma gestão eficiente e eficaz dos fluxos dos materiais e informação associada (gestão da cadeia de abastecimento). São estes desafios que serão o foco desta dissertação de mestrado em Engenharia Industrial no ramo da Logística e Distribuição.

Apesar de o ideal ser o aproveitamento total das escórias de forma a que nenhuma quantidade precise de ir para aterro, numa fase inicial não se prevê que a Lipor consiga fazê-lo por esta nova via, pelo que será necessário contemplar a execução simultânea de ambas as operações, micronização e deposição em aterro do material não sujeito a micronização. O processo de tratamento das escórias irá depender da quantidade procurada e despoletará a acumulação em armazém da quantidade de produto final necessária. Para além disso, para efeitos de uma gestão eficiente de inventários do produto final é importante conhecer o comportamento da procura por cimento por parte dos possíveis clientes, ou seja, se é uma procura constante ao longo do ano, se há sazonalidade, etc. Outro grande desafio é, também, prever a evolução da procura ao longo dos anos, pelo que será necessário garantir uma solução logística flexível e adaptável a flutuações da procura.

1.2 Objetivos

O presente projeto, que decorrerá nas instalações da Lipor, tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema logístico para suporte do projeto de Valorização das Escórias. Para atingir o objetivo foram identificadas as seguintes fases:

- Revisão de literatura sobre economia circular, a cadeia de abastecimento do cimento e logística de produtos de baixo valor;
- Análise dos requisitos associados ao novo sistema logístico: armazenamento e transporte;
- Desenho do sistema logístico incluindo dimensionamento das infraestruturas de suporte, estratégias de gestão de inventários e de transporte;
- Criação de uma proposta de cadeia de abastecimento orçamentada para todos os parâmetros logísticos necessários para o projeto.

As questões de investigação que se pretendem esclarecer com esta dissertação são:

- Quais os principais desafios associados ao projeto de um sistema logístico de suporte ao processo de valorização de escórias?
- Quais os pontos críticos na definição de um sistema logístico eficiente?
- Quais os melhores procedimentos e infraestruturas logísticas que garantem uma gestão eficiente e eficaz dos fluxos dos materiais e informação associada a este projeto?

1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação utilizada será estudo de caso. Segundo Tellis (1997), a metodologia de investigação estudo de caso não é uma investigação com base em amostras, mas sim, de acordo com Saunders *et al.* (2007), uma investigação que procura os conceitos e ideias existentes sobre o/os tema(s) em estudo, desenvolve conhecimento detalhado e/ou intensivo acerca de um ou mais tópicos de estudo ou fornece novas hipóteses. Robson (2002) define estudo de caso como uma metodologia que estuda empiricamente um acontecimento atual através da recolha de informação proveniente de diversas fontes. Esta metodologia é particularmente útil para estudos explicativos e inclui técnicas como entrevistas, observação, análise de conteúdos e questionários.

Estão previstas as seguintes fases de trabalho:

1. A fase inicial do projeto será definir os objetivos e o plano do projeto, onde são definidos os objetivos que se pretende cumprir com a realização da investigação e se planeia as várias etapas a efetuar para atingir esses objetivos;

2. Realização de uma pesquisa e revisão bibliográfica dos conteúdos a abordar, nomeadamente economia circular, valorização de escórias, gestão da cadeia de abastecimento do cimento e de produtos de baixo valor;

3. Realização de um inquérito a empresas de pré-fabricados de betão e contacto com empresas e associações de interesse para obter informações pertinentes para o estudo;

4. Realização dos estudos completos do armazenamento e transporte, onde se estudarão todas as hipóteses relevantes e os seus custos;

5. Finalmente, será redigida a dissertação, em alguns momentos simultaneamente com a investigação, onde serão abordados todos os tópicos trabalhados e as conclusões a que se chegaram, de forma a criar uma solução para o sistema logístico do projeto.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz a dissertação através do enquadramento do estudo e da apresentação dos objetivos e metodologia da investigação.

O segundo capítulo aborda os conceitos principais subjacentes à dissertação através de Revisão Crítica da Literatura, nomeadamente o conceito de Economia Circular e Cadeia de

Abastecimento (CA), focando principalmente nas áreas da Valorização de Escórias e do *design* da Cadeia de Abastecimento do cimento. Apresenta também a revisão de literatura de artigos que abordam a Logística de produtos de baixo valor. Este capítulo termina com uma Análise Crítica à Revisão da Literatura efetuada.

O terceiro capítulo é uma exposição do caso de estudo, iniciado pela apresentação da Lipor e deste seu novo projeto e os seus desafios. O último ponto deste capítulo descreve e analisa o sistema logístico existente na Central de Valorização Energética, local onde são formadas as escórias, e a descrição do destino final atual das mesmas, abordando o processo efetuado e os recursos utilizados.

O quarto capítulo apresenta a metodologia genérica na construção de um sistema logístico, com todos os parâmetros que devem ser tidos em conta, e que será depois adaptada ao projeto da Lipor.

O quinto capítulo expõe a proposta de sistema logístico para o projeto de valorização das escórias, analisando todos os parâmetros aplicáveis ao projeto, acrescido dos custos orçamentados dos mesmos e uma análise de cenários, terminado com uma síntese dos resultados obtidos.

Finalmente, o sexto e último capítulo conclui todo o trabalho realizado nesta dissertação.

2. REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA

Neste capítulo será feita uma breve introdução aos temas da Economia Circular e da sua aplicação na Valorização das Escórias de Incineração de Resíduos Urbanos com base em literatura e outros dados. Irá, também, ser feita a revisão da literatura sobre a cadeia de abastecimento do cimento, nomeadamente o seu *design* e requisitos, e explorada a logística de produtos de baixo valor, com o objetivo de estudar possíveis similaridades com o projeto em estudo.

2.1 Economia Circular

O desenvolvimento da medicina, das condições de higiene, das infraestruturas e, de um modo geral, da qualidade de vida do Homem permitiu reduzir significativamente a taxa de mortalidade nos últimos 100 anos, traduzindo-se num crescimento elevado da população (Van Bavel, 2013). Com este crescimento, gera-se um aumento na procura de bens de consumo, uma subida constante na produção agrícola e industrial como forma de responder a essa procura e, conseqüentemente, a crescente exploração de recursos naturais (Meadows *et al.*, 1972). Para além disso, após a Revolução Industrial, verificou-se uma alteração da relação entre o Homem e os bens-materiais, em que estes se tornaram propositadamente descartáveis como forma de facilitar a vida quotidiana (Lieder & Rashid, 2016).

O comportamento observado a partir da Revolução Industrial, caracterizado pela “*conversão de recursos naturais em resíduos através da produção*” é designado por economia linear (Murray, 2015, pp. 371). Economia linear é o termo que representa o modelo económico atual, que segue o fluxo “*take-make-waste*” ou “*take, produce, consume and dispose of*”, em que se extraem os recursos naturais para produzir bens que, depois de utilizados ou consumidos, são rejeitados (Lacy & Rutqvist, 2015; Malinauskaite *et al.*, 2017). No entanto, os recursos do planeta são limitados ou incapazes de se regenerar ao ritmo de crescimento da população e da economia, pelo que o modelo linear deixa de ser viável (Lacy & Rutqvist, 2015; Meadows *et al.*, 1972). Junto a esta limitação vem a perda de biodiversidade, poluição dos solos, da água, do ar, “*comprometendo os sistemas de suporte à vida na Terra*” (Jackson, 2009; Meadows *et al.*, 2004; Rockstrom *et al.*, 2009; WWF, 2014 citados por Geissdoerfer *et al.*, 2017, pp. 757).

Com a adoção da economia linear e a descartabilidade dos produtos, a acumulação de resíduos e a sua deposição em aterros sanitários tem sido um dos grandes problemas das últimas décadas. Com efeito, juntamente com as preocupações referidas no parágrafo anterior, cria-se a necessidade de adotar um novo modelo económico e comportamental nas sociedades que combata estes problemas. Desta forma, surge o conceito de economia circular, cujo objetivo é a criação de um sistema económico e industrial em que os resíduos de uma indústria se possam transformar na matéria-prima de outra, reduzindo, assim, as quantidades utilizadas de matérias-primas virgem e a criação de desperdício durante os processos produtivos (Andersen, 2006; Murray, 2015). Segundo a Ellen McArthur Foundation (2013, vol.1, pp. 22), *“economia circular refere-se a uma economia industrial restauradora por intenção; visa depender de energia renovável; minimiza, rastreia, e elimina o uso de químicos tóxicos; e erradica o desperdício através de um design cuidadoso”*, como forma de minimizar o impacto da indústria e do consumo no meio-ambiente e garantir um futuro para as gerações seguintes. Para além disso, junto da população, este conceito também pode ser aplicado através da prática dos 3R’s: reduzir, reutilizar e reciclar (Murray, 2015). Desta forma, os resíduos passam a ter valor de mercado e uma “esperança de vida” bastante superior, quando comparados com a adoção da economia linear (Andersen, 2006; Murray, 2015).

Com a tomada de consciência do valor dos resíduos e do seu potencial, assim como do seu impacto no ambiente quando não tratados ou aproveitados, foi publicada em 1975 a primeira diretiva da União Europeia sobre a necessidade de redução e reutilização dos resíduos e de implementação de uma campanha contra os mesmos (Martinho, 1998). Deste modo, foi possível eliminar as lixeiras, existentes em todos os concelhos portugueses, e substituí-las por infraestruturas partilhadas por vários municípios. Entretanto, em 2015, a Comissão Europeia criou o Plano de Ação da EU para a Economia Circular cujo objetivo é, através de propostas legislativas, estimular os países da União Europeia a transitar para uma economia circular. Deste modo, pretende-se impulsionar o crescimento económico sustentável e a competitividade das empresas da EU, protegendo-as da *“escassez de recursos e volatilidade dos preços”*, para além da criação de novos empregos, poupança de energia, do ambiente e da redução das quantidades emitidas de gases de efeito de estufa (Comissão Europeia, 2015). Para tal, foram definidos objetivos concretos no que toca à reciclagem e redução de resíduos, revistos em 2018, entre eles (Comissão Europeia, 2015):

- Reciclagem de 65% dos RU da EU até 2035;
- Redução da quantidade de resíduos urbanos depositados em aterro para, no máximo, 10% do total de RU até 2035;
- Promoção de instrumentos económicos para desencorajar a deposição de resíduos em aterro;
- Medidas concretas para promover a reutilização e estimular a simbiose entre indústrias, transformando os resíduos de uma indústria em matéria-prima de outra.

O conjunto de ações previsto neste plano pretende garantir a criação de uma estratégia viável a longo prazo na gestão e valorização dos resíduos urbanos e industriais em todos os países da União Europeia.

Assim, é possível concluir que a temática da Economia Circular já não é apenas um conceito teórico, mas sim, um novo método económico relevante posto em prática na sociedade de hoje.

2.1.1 Economia Circular na Valorização de Escórias de Incineração de Resíduos Urbanos

Atualmente, um dos processos de valorização dos resíduos urbanos aplicados por todo o mundo é a incineração dos mesmos, quando não foram recolhidos seletivamente ou quando não é possível a sua compostagem nem reciclagem, aproveitando o calor para gerar energia elétrica. No entanto, deste processo surgem cinzas volantes e escórias, ou cinzas de fundo da fornalha, compostas por minerais, metais e material que não queimou à temperatura a que foi feita a combustão (Blasenbauer *et al.*, 2020). A sua produção corresponde a cerca de 250kg por cada tonelada de resíduos incinerados (Holm & Simon, 2017; Porteous, 2005; Qiao *et al.*, 2008). Esta quantidade depende das “características dos resíduos (...), do tipo de câmara de combustão (...), da eficiência do processo de combustão, entre outros, que irão também afetar as características das escórias resultantes” (Chang and Wey, 2006; Collivignarelli *et al.*, 2017 citados por Silva *et al.*, 2019, pp. 23).

Com efeito, na Europa há 29 países que realizam incineração de resíduos urbanos com aproveitamento energético, incluindo Portugal (PORDATA, 2020). Em 2017, nestes países, cerca de 96 milhões de toneladas de resíduos foram valorizados através da incineração, gerando, aproximadamente 19 milhões de toneladas de escórias (CEWEP, 2019). Destas é

possível retirar os metais e reciclá-los. Contudo, a restante quantidade sem os metais (fração mineral das escórias), quando não aproveitada, é depositada em aterro sem qualquer tratamento ou valorização. As consequências ambientais decorrentes desta ação e o custo da deposição destes resíduos em aterro geraram a necessidade de se arranjar soluções de aproveitamento das escórias de modo a transformá-las em produtos de valor (Bethanis, 2007), substituindo em parte, a exploração de recursos naturais e respeitando o conceito de Economia Circular.

Neste momento, em alguns países da Europa, as escórias são aproveitadas como material de construção nomeadamente na construção de estradas, como agregado para betão, como aditivo no cimento, na cobertura de aterros sanitários, entre outros (Born & van Brecht, 2014; Joseph *et al.*, 2018; Wiles & Shepherd, 1999), sendo as mais comuns as utilizações na construção de estradas e na cobertura de aterros sanitários.

Segundo Lynn *et al.* (2017) citado por Joseph *et al.* (2018), na construção de estradas, as escórias podem ser utilizadas como agregado aplicado em camadas base e sub-base de pavimentos rodoviários, material de nivelamento e construção de aterros (subida do nível de terrenos). De acordo com Born e van Brecht (2014), na Europa, o uso de escórias na construção de estradas é feito pela Bélgica, Dinamarca, França, Alemanha, Itália, Holanda, Portugal, Espanha e Reino Unido.

Em Portugal Continental, há duas centrais de valorização energética, a Lipor e a Valorsul, mas apenas a Valorsul transforma as escórias num produto de mercado. De facto, esta entidade, situada em Lisboa, transforma os resíduos de fundo de incineração em agregados artificiais destinados a serem aplicados em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários: camada de base, sub-base ou de leito de pavimento. Estes agregados têm características idênticas aos de origem natural, sendo assim um substituto perfeito destes, permitindo, poupar recursos naturais e espaço no aterro sanitário da Valorsul (Valorsul, n.d).

Tanto cinzas volantes como escórias são utilizadas como aditivos no cimento ou como substituto do agregado na composição do betão, um dos constituintes do mesmo. Wiles & Shepherd (1999) mencionam projetos de investigação efetuados nos Estados Unidos da América, onde foram contruídos vários edifícios com blocos de betão, em que o agregado foi substituído por escórias e cinzas volantes, com o objetivo de perceber a sua eficácia. Apesar de muitos destes estudos terem apresentado conclusões positivas, ainda não há leis nem

regulamentações aplicáveis à utilização de cinzas resultantes da incineração de resíduos urbanos.

Wegen *et al.* (2013) realizaram um estudo sobre a possibilidade de utilizar escórias de incineração de resíduos como agregado substituto da areia ou gravilha no betão, após um determinado tratamento, e concluíram que este substituto é adequado e já utilizado por produtores de betão na Holanda.

Tang *et al.* (2015) analisaram as características de escórias provenientes de duas centrais de incineração de resíduos urbanos da Holanda, com processos de incineração diferentes, e estudaram a possibilidade de utilizar as escórias como matéria-prima do clínquer, o componente principal do cimento, e como substituto da areia na produção de argamassa. Concluíram que as propriedades das escórias em estudo não atingem os valores mínimos necessários para que estas possam ser usadas como matéria-prima do clínquer, mas têm potencial para ser utilizadas como corretivo do mesmo, após estudos mais aprofundados dessa hipótese. A adição das escórias na argamassa como substituto da areia reduziu a sua rigidez, mas não foram detetadas rachas, pelo que essas escórias podem ser utilizadas para argamassa para evitar isso mesmo.

Vários artigos abordam a possibilidade de aplicação de escórias em vários produtos, nomeadamente: cimento para betão (como aditivo ou como substituto), cimento para asfalto, betão alcalino ativado, agregados leves secundários, entre outros (Tang *et al.*, 2020). Exemplos disso são autores como Abbà *et al.* (2014), Keulen *et al.* (2012), Li *et al.* (2016), Seraj *et al.* (2017), Song *et al.* (2015), Tang *et al.* (2016) e Qiao *et al.* (2008).

Também se encontram estudos que analisam a possibilidade da criação de um “eco-cimento” composto unicamente por resíduos de incineração de resíduos urbanos, nomeadamente os artigos de Coelho *et al.* (2020) e Cristelo *et al.* (2020). O artigo de Ashraf *et al.* (2019) analisa essa hipótese, produzindo “eco-cimento” num ciclo fechado de matérias-primas, energia e dióxido de carbono (incorporados no “eco-cimento”) produzidos com a incineração dos resíduos. Este produto seria um substituto total do cimento, por ter propriedades iguais ou muito próximas às do cimento de origem natural. Apesar disso, atualmente não se encontra, a nível mundial, nenhum produtor de um substituto total do cimento à base de escórias de incineração de resíduos municipais, daí o carácter inovador do presente estudo.

2.2 Logística de produtos de baixo valor

Recursos como resíduos florestais, areia ou gravilha, que consistem em matérias-primas essenciais para outros produtos ou serviços, dependem de uma logística bem estruturada e eficiente que permita a manutenção do seu baixo custo. Deste modo, uma vez que as escórias são um material de baixo custo, considerou-se interessante explorar o estudo do sistema logístico de outros produtos de baixo custo como forma de procurar similaridades com o projeto em estudo.

Posto isto, da atividade florestal, como limpeza das matas, abate de árvores para uso da madeira e de atividades de reflorestação (Han *et al.*, 2018), resultam resíduos como ramos, troncos, vegetação espontânea, matos, entre outros, que são utilizados como biomassa para a produção de energia, *pelletes*, briquetes ou estilha de madeira.

O desenvolvimento do mercado da biomassa florestal está dependente da viabilidade económica desta matéria-prima, devido aos elevados custos logísticos confrontados com o seu baixo valor marginal (Han *et al.*, 2018). Estes custos incluem os fixos e variáveis da extração da biomassa e os variáveis do transporte entre o local de extração e as indústrias (Yemshanov *et al.*, 2014). O desenvolvimento de um sistema logístico eficiente e a escolha dos equipamentos mais adequados para esta atividade tornaram-se objeto de estudo para muitos investigadores no sentido de encontrar a melhor solução possível (Han *et al.*, 2018).

A logística dos resíduos florestais consiste no pré-processamento, armazenamento e transporte para as indústrias finais (Han *et al.*, 2018). Os resíduos são recolhidos nos locais de extração e transportados pelos trilhos de extração até um terminal, onde podem ser realizadas atividades de processamento e onde são armazenados, sendo depois transportados até às indústrias transformadoras (Spinelli *et al.*, 2007; Soman, 2019; Keefe *et al.*, 2014).

Os resíduos florestais são muito diversificados em termos de forma e tamanho e têm um “*baixo peso por volume*” (Johansson *et al.*, 2006, pp. 334). Como forma de otimizar o transporte através da utilização máxima do espaço útil de carga, no local de extração, estes podem ser transformados (pré-processamento) em fardos, através da utilização de um *bundler*, ou em estilha, após a passagem por um *grinder* ou *chipper*. Os resíduos sem qualquer tipo de pré-processamento evitam o investimento em mais equipamentos, mas apenas é viável para distâncias curtas de transporte (Spinelli *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2017). Os resíduos

podem também sofrer o pré-processamento no terminal, tanto o enfardamento como a trituração.

Segundo Keefe *et al.* (2014, pp. 253), *“o nível de pré-processamento e o ponto em que isso ocorre na cadeia de abastecimento têm impactos importantes na eficiência da cadeia de abastecimento porque os custos de transporte (...) são afetados pela energia e densidade do material. Em geral, cadeias de abastecimento que reduzem o tamanho das partículas, o teor de cinza e de humidade da biomassa perto do local de extração, são mais eficientes a nível de transporte. Isto deve-se ao facto de que a biomassa seca e mais compactada contém um teor energético mais elevado por unidade volumétrica”*. O mesmo autor refere, também, que, mesmo estilhada e compactada, a biomassa é difícil de transportar por ser um produto a granel. Deste modo, a forma mais eficiente de transporte deste resíduo seria através da utilização do *“maior camião possível”* que permita maximizar a carga, distribuindo os custos fixos e variáveis pela elevada quantidade de material, para além da *“redução de atrasos associados ao carregamento e descarregamento de vários camiões mais pequenos”*.

A areia e a gravilha são recursos naturais utilizados principalmente na construção civil. Para além do seu baixo valor, o local onde são *“produzidos”* depende da Natureza. Isto significa que os custos com o transporte destes recursos vão representar a parcela maior no total dos custos logísticos, uma vez que normalmente não são os locais mais estratégicos a nível económico (Aguirre & Hennies, 2010). Deste modo, a escolha do meio ou meios de transporte destas matérias-primas torna-se um dos pontos fulcrais aquando da tentativa de manutenção do seu baixo valor.

Os meios de transporte mais comuns na exploração de areia e gravilha são o rodoviário, o ferroviário e o hidroviário. Num estudo realizado por Shiau e Chuang (2012), os autores comparam três estratégias de transporte de gravilha em Taiwan, em termos económicos, ecológicos e sociais. Essas estratégias são: utilizar apenas transporte rodoviário; combinação de rodoviário e ferroviário; e combinação de rodoviário e hidroviário. Segundo os autores, apesar de o transporte rodoviário ser o mais flexível, por ser o único que transporta porta-a-porta, e o que consegue os menores tempos de entrega, é o que apresenta os custos mais elevados. Já a combinação dos transportes rodoviário e hidroviário é a estratégia mais acessível economicamente, mas a que tem tempos de entrega mais elevados.

Estes resultados dependem, obviamente, das infraestruturas rodoviárias, ferroviárias e hidroviárias da região em estudo. No entanto, segundo Ballou (1993) citado por Aguirre e

Hennies (2010), os modos de transporte mais apropriados para o transporte deste tipo de recursos são o hidroviário e o ferroviário, por apresentarem os custos mais baixos, sendo o transporte rodoviário apenas um complemento dos outros modos.

2.3 Cadeia de abastecimento do cimento

Este ponto da revisão da literatura irá abordar o conceito de cadeia de abastecimento (CA) e expor todos os aspetos do *design* da CA do cimento.

2.3.1 Cadeia de abastecimento

Num mundo empresarial cada vez mais competitivo, todas as atividades de uma organização, desde o recebimento de matérias-primas, passando pela produção, até à entrega do produto final, devem ser o mais eficientes possível. Um aspeto fundamental de qualquer empresa é a sua atividade logística e a gestão da cadeia de abastecimento por si estabelecida, uma vez que o consumidor é cada vez mais exigente em termos de qualidade do produto e do serviço.

Deste modo, é importante primeiro distinguir os dois conceitos acima mencionados: logística e gestão da cadeia de abastecimento. Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) (2013), logística consiste no “*processo de planeamento, implementação e controlo dos procedimentos para um transporte e armazenamento eficientes e eficazes de bens e serviços, e informação desde o ponto de origem ao ponto de consumo para fins de conformidade com os requisitos do consumidor. Esta definição inclui movimentos inbound, outbound, internos e externos*”. E gestão da cadeia de abastecimento é definida como “*o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas no sourcing e procurement, conversão e todas as atividades de gestão logística. Também inclui coordenação e colaboração com os parceiros da cadeia, que podem ser fornecedores, intermediários, prestadores de serviços e clientes. Essencialmente, a gestão da cadeia de abastecimento integra a gestão do abastecimento e da procura dentro e entre empresas*” (CSCMP, 2013).

Christopher (2011, pp. 3) define gestão da cadeia de abastecimento como “*a gestão de relações a montante e a jusante com fornecedores e clientes de forma a entregar valor superior para o cliente a um custo inferior para a cadeia como um todo*”.

Rushton *et al.* (2014) simplifica estes conceitos reduzindo-os a uma simples soma, em que logística é a soma das atividades de gestão de materiais e distribuição, enquanto cadeia de

abastecimento inclui as mesmas atividades da logística, mas acrescenta os fornecedores e clientes à equação.

Uma cadeia de abastecimento bem estruturada e gerida permite que o produto certo chegue ao cliente certo, na quantidade certa, no local exato, à hora certa e com a qualidade desejada. Só assim é possível competir nos mercados atuais, satisfazendo as necessidades dos clientes.

2.3.2 A cadeia de abastecimento da indústria do cimento

O cimento é um aglomerante que une diferentes materiais após o contacto com a água e secagem, tornando-os num só. O tipo de cimento mais utilizado é o cimento Portland. Ele é principalmente utilizado como componente principal do betão, que é um material fundamental para o setor da construção e o produto mais utilizado no mundo, a seguir à água (Pinto, 2015). O seu consumo está muito dependente da economia do país ou região em que está inserido e do ciclo económico, uma vez que a indústria da construção é cíclica, ou seja, contrai com as recessões e cresce com as expansões, sendo o consumo de cimento, assim, um indicador económico significativo (Agudelo, 2009; Noche & Elhasia, 2013).

Em Portugal, o consumo de cimento ultrapassou os 3200 milhares de toneladas durante o ano de 2019, representando um crescimento face ao ano anterior (AICCOPN, 2019). A nível mundial, segundo um relatório da organização britânica Chatham House, prevê-se que a produção de cimento atinja os 5 mil milhões de toneladas, daqui a 10 anos, um acréscimo de mil milhões de toneladas comparado com os valores atuais (Ribeiro, 2019).

Relativamente ao processo produtivo do cimento, Latif (2010) sintetiza-o em dois passos: a produção de clínquer a partir das matérias-primas e a produção de cimento a partir do clínquer.

O clínquer surge da extração de calcário e outras matérias-primas de uma pedreira, que são transportados para a fábrica de cimento por via rodoviária, fluvial, ferroviária ou através de uma tela transportadora, consoante a distância a que a fábrica se encontra do local de extração. Aí as matérias-primas são pré-homogeneizadas, e moídas, transformando-se numa farinha. Esta é, depois, homogeneizada em silos de homogeneização, onde fica até estar pronta para a fase seguinte. Quando isso acontece, a farinha é pré-aquecida antes de entrar no forno, que a transforma em clínquer, o componente principal do cimento. O clínquer é, depois, enviado, para um silo fechado ou, em alguns casos, para uma zona a céu aberto. Para além de clínquer, o cimento é constituído, também, por uma ou mais adições (gesso, cinzas

volantes, escórias de siderurgia, calcário, entre outros) que estão, geralmente, armazenadas em silos ou edifícios fechados. De seguida, executa-se a moagem do clínquer com o gesso e outras adições nas devidas proporções nas tremonhas de moagem, para onde são transportados através de telas de transporte, de forma a criar os diferentes tipos de cimento, sendo depois armazenados em silos. Finalmente, quando o cimento é retirado dos silos pode ser: ensacado, ensacado e paletizado ou ensacado e colocado em pacotes de plástico retrátil e enviado via rodoviária, ferroviária, marítima ou fluvial. Pode também ser enviado a granel em camiões-cisterna, vagões-cisterna ou navios (CIMPOR). De uma forma geral, o envio a granel é mais comum em países desenvolvidos e o envio de cimento ensacado é mais comum em países menos desenvolvidos (Alsop, 2001; Agudelo, 2009). De acordo com Akasaka *et al.* (2014), o cimento ensacado pode ter como destino centros de distribuição e locais de consumo final, enquanto o cimento a granel só pode ser enviado diretamente da unidade industrial para o local de consumo final.

Segundo Agudelo (2009), a escolha da pedreira e a localização da unidade industrial devem ter como fator de decisão o facto de que se pretende que a unidade funcione durante, em média, 100 anos, pelo que a pedreira tem de ter reserva de matéria-prima suficiente que sustente a unidade durante o período desejado. Para além disso, esta está normalmente localizada perto da pedreira; quanto mais perto, menores os custos de transporte.

A unidade industrial deve ter capacidade de armazenar a quantidade necessária de clínquer que, não só garanta a produção de cimento durante as manutenções do forno que transforma a farinha em clínquer, como também corresponda a, pelo menos, 14 dias de produção do forno e permita cobrir períodos de maior e menor procura de cimento (indústria cíclica). Para além disso, deve haver espaços de armazenagem diferentes se forem produzidos diferentes tipos de clínquer (Alsop, 2001). Segundo Noche e Elhasia (2013), o cimento é um produto sensível às condições a que está exposto, nomeadamente humidade e água, podendo estas influenciar a sua qualidade. De acordo com Alsop (2001), o cimento deve estar a uma temperatura inferior a 60°C quando é transferido para os silos e, quando armazenado, não deve exceder os 80°C por razões de alteração das propriedades do cimento. Este autor refere, também, que deve haver silos ou silos compartimentados suficientes para armazenar os diferentes tipos de cimento e aguentar pelo menos 1 dia de armazenamento do cimento acabado de produzir. No entanto, os custos de armazenagem do cimento são bastante elevados, pelo que há a necessidade de reduzir ao máximo o número de silos que são precisos.

Agudelo (2009) refere que o prazo de validade do cimento é, aproximadamente, entre 2 a 3 meses; quando o tempo armazenado ultrapassa esse período, as características do produto podem alterar-se.

Para além disso, o cimento pode ser considerado um *commodity*, uma vez que não difere significativamente de empresa para empresa, sendo facilmente “*permutável*”, pelo que os únicos fatores que diferenciam empresas concorrentes são o preço e o serviço ao cliente (Noche & Elhasia, 2013).

De forma a que a execução deste sistema produtivo seja possível e eficiente é necessário haver uma cadeia de abastecimento bem desenhada e gerida que garanta o constante fluxo de informação e materiais. Para isso, Agudelo (2009) analisa os processos da cadeia de abastecimento deste produto através do modelo SCOR, e da estratégia de cadeia de abastecimento *Push-Pull*. O modelo SCOR (*Supply-Chain Operations Reference model* – modelo de referência das operações da cadeia de abastecimento) é definido por cinco processos: *Plan, Source, Make, Deliver* e *Return*; e serve para avaliar e comparar as atividades de diferentes cadeias de abastecimento. Neste caso, é utilizado apenas para estruturar os processos. Deste modo, Agudelo (2009) definiu para a cadeia de abastecimento do cimento:

- *Plan* (planeamento): esta é a primeira fase que determina o conjunto de ações a tomar para satisfazer as fases seguintes, gerindo os processos de coordenação da oferta com a procura. A cadeia de abastecimento do cimento caracteriza-se por ter os seus processos centralizados e otimizados de forma a reduzir os custos logísticos, utilizando sistemas de planeamento de vendas e operações (S&OP – *Sales and Operations Planning*) com o objetivo de alinhar vendas, produção e as atividades logísticas, garantindo o cumprimento do nível de serviço definido.

- *Source* (abastecimento): a matéria-prima principal do cimento é o calcário, cujas pedreiras são, normalmente, geridas pelas empresas de produção de cimento, havendo uma integração vertical entre as duas. A disponibilidade do calcário é considerada ilimitada, apesar de, na maioria dos países, a sua exploração ser controlada pelos governos devido a questões ambientais. Há, no entanto, outros produtos que têm de ser adquiridos pelas empresas de produção de cimento, nomeadamente: carvão, eletricidade (algumas já recorrem a meios próprios e sustentáveis de fornecimento de energia), outras matérias-primas, embalagens, equipamentos de produção e de manutenção.

- *Make* (produção): o processo produtivo do cimento está bastante automatizado, é contínuo e produz para *stockagem*, ou seja, *make-to-stock*, de forma que os produtos ficam armazenados enquanto não forem procurados. Esta indústria tem, no entanto, poucos SKU (*Stock Keeping Units*), que correspondem apenas aos diferentes tipos de cimentos.

- *Deliver* (entrega): o transporte de cimento é feito por via rodoviária, ferroviária, marítima e fluvial. Uma vez que o cimento é uma carga pesada e tem um rácio valor-peso baixo, não compensa realizar as entregas por via rodoviária para distâncias superiores a 300 quilómetros (Cembeureau, 2008 citado por Agudelo, 2009). O cimento é entregue ensacado ou a granel. Os sacos são mais flexíveis pois podem ser transportados em camiões normais, no entanto, são mais difíceis de carregar e descarregar, especialmente se os clientes não possuírem os equipamentos apropriados para o fazer e tiver de ser efetuado manualmente. Normalmente, há integração vertical com os fornecedores dos serviços logísticos, mas também pode ser feito *outsourcing* ou um conjunto dos dois, frota própria e *outsourcing*, opções mais utilizadas pelas grandes empresas de cimento.

- *Return* (devolução): só são feitas devoluções quando há problemas de qualidade com o produto, pelo que são bastante incomuns, e resolvidas com a substituição do mesmo.

De acordo com Agudelo (2009), a estratégia de cadeia de abastecimento *Push-Pull* caracteriza-se por ter parte da cadeia de abastecimento com uma estratégia *Push* e a outra com uma estratégia *Pull*. Segundo a autora, grande parte das empresas produz cimento para *stock* (BTS – *Built-to-Stock*) sendo o *lead time* para o consumidor apenas o tempo de entrega do produto final, como é possível verificar na Figura 1.

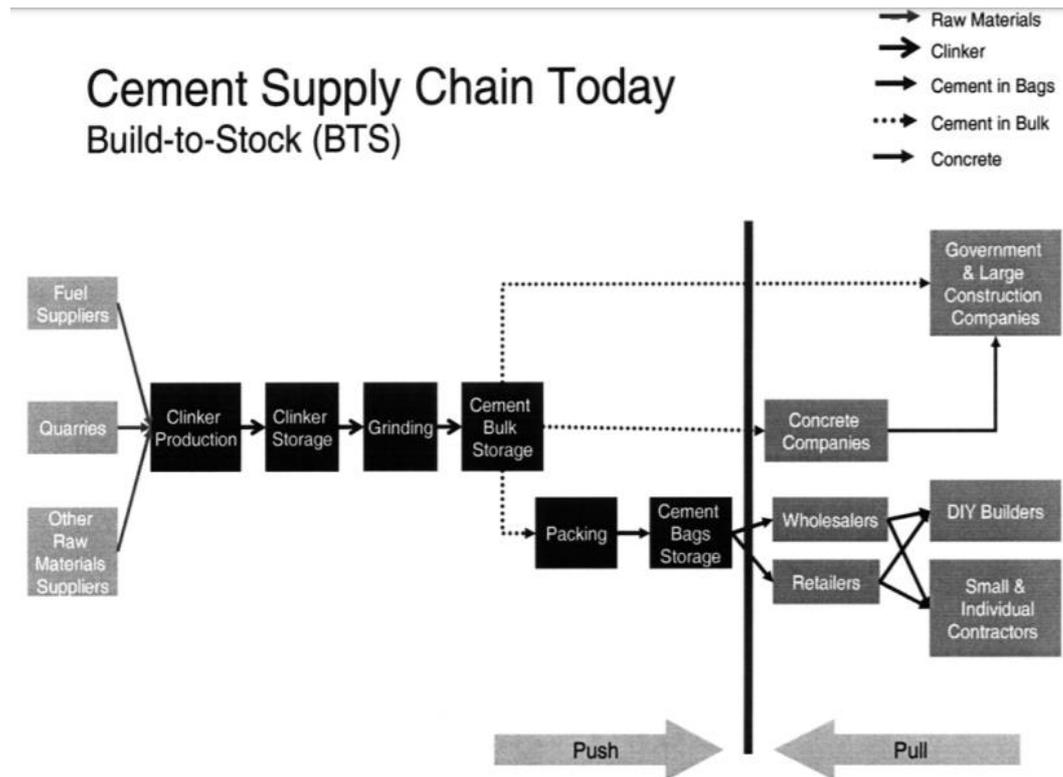


Figura 1 - Cadeia de abastecimento do cimento
(Isabel Agudelo, 2009)

Desta forma, a estratégia *Push* é utilizada desde a extração de matérias-primas e chegada dos produtos dos fornecedores até ao momento em que o cimento está pronto e tem de ficar armazenado, parte a granel e parte ensacado. A partir daí, segue uma estratégia *Pull* em que o produto final só sai do armazém aquando de encomendas de clientes, podendo eles ser empresas de betão, grossistas, retalhistas ou o governo juntamente com grandes empresas de construção.

Segundo um estudo de Sellitto *et al.* (2009) numa fábrica de cimento, a produção deste produto seguia, também, uma estratégia de produção empurrada, *Push*, em que apenas se parava quando os silos estavam cheios, e o cimento era transportado para o cliente apenas quando havia uma encomenda do mesmo e o seu camião já se encontrava na fábrica, ou seja, este processo seguia uma estratégia de produção puxada, *Pull*. Nesta fábrica, o transporte do cimento para a planta do cliente era assegurado pelo mesmo, através de transporte próprio ou contratado, pelo que a fábrica não incorria nesse custo. De acordo com Elhasia e Noche (2013), as estratégias *Make-to-Stock* (MTS), ou BTS, e *Assemble-to-Order* (ATO) são as mais

comuns na cadeia de abastecimento da indústria do cimento. Com a estratégia MTS, as empresas conseguem dar resposta imediata aos pedidos dos seus clientes ao armazenar o produto em *stock*, minimizando o *lead time*, e produzindo consoante as previsões da procura. No entanto, os custos de armazenamento são altos e a diversidade de produtos é baixa, sendo mais apropriada para venda de cimento a granel. A estratégia ATO permite maior diversidade de produtos, consoante os requisitos do cliente, mas exige um processo produtivo mais flexível e eficiente para conseguir responder a esses pedidos personalizados. Segundo Agudelo (2009), e mencionado noutros artigos como Elhasia e Noche (2013) e Noche & Elhasia (2013), ATO pode dividir-se em duas estratégias: Grind-to-Order (GTO) e Pack-to-Order (PTO). Em GTO, a estratégia de produção é *push* entre a produção de clínquer e o processo de moagem, o que significa que só a pedido de cliente é que se continua o processo a partir desta última operação, ou seja, segue uma estratégia *pull*. PTO segue a mesma lógica, mas a separação está entre o armazenamento do cimento a granel e o embalamento em sacos que vai depender dos requisitos do cliente e permite à empresa lidar com a incerteza na procura de cimento ensacado. Estas duas estratégias fazem naturalmente aumentar o *lead time*, mas permite a customização do produto segundo as exigências do cliente.

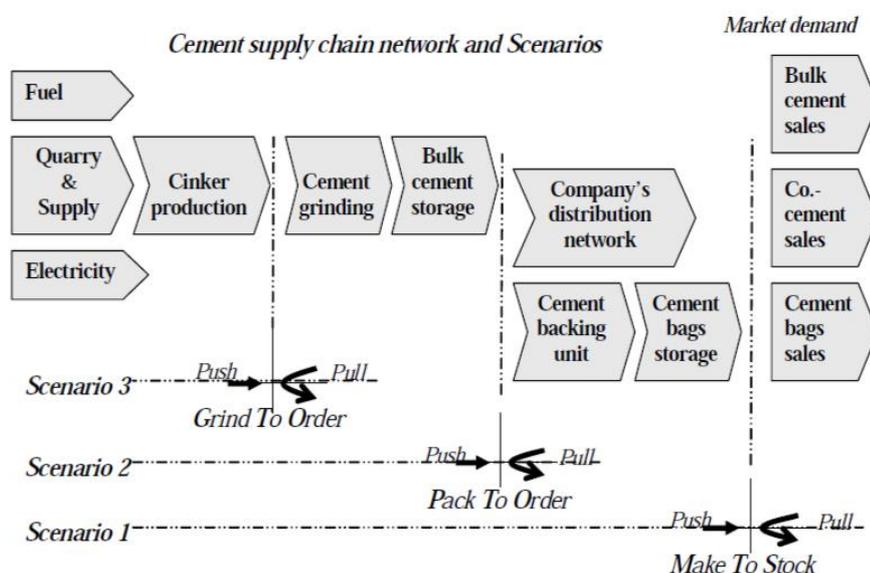


Figura 2 - Estratégias GTO, PTO, MTO de cadeia de abastecimento do cimento (Elhasia & Noche, 2013)

Rifat (2014) e Das (2015) realizaram relatórios sobre a logística de uma mesma empresa na Índia que vende dois tipos de cimento diferentes embalados em sacos, sendo que um deles também é vendido a granel para grandes projetos de construção. A empresa dispõe de

fornecedores de sacos que produzem de acordo com os seus requisitos. O processo de embalagem do cimento é automático e feito em sacos de 50 kg, cujo enchimento é superior a 50 kg para compensar as fugas resultantes do manuseamento dos sacos. De seguida, os sacos são movimentados através de um tapete rolante para as zonas de carregamento de camiões ou barcos, onde essa operação é feita de forma automática. No que toca a armazenamento dos produtos finais, a empresa dispõe de 6 armazéns em 6 cidades diferentes para estar mais próxima dos seus clientes, para além do armazenamento na unidade industrial. Estes armazéns foram dimensionados e localizados com base na procura dos clientes e a gestão de inventários segue uma estratégia FIFO (*First in, First out*), com o armazenamento dos sacos em pilhas.

Rebelato *et al.* (2011) estudou uma empresa do setor da extração mineral no Brasil, que tem como uma das suas atividades a distribuição de cimento ensacado. Esta efetua mensalmente compras de 400 toneladas de cimento em sacos de 42,5 kg, transportados em paletes com capacidade para 40 sacos de cada vez. Essas paletes são acondicionadas com lona e corda para estarem mais protegidas, sendo depois enviadas por navio para o destino final. Este sistema de cimento ensacado em paletes não é o mais eficiente, uma vez que exige o uso de diversos equipamentos, como empilhadores e guindastes para a sua movimentação e, devido ao limite máximo de empilhamento em paletes, este formato ocupa muito espaço em armazém e nos contentores dos navios. Para além disso, é muito exigente em mão-de-obra e esforço físico dos trabalhadores, podendo resultar em acidentes de trabalho. Do ponto de vista ambiental também não é favorável pelo facto de utilizar embalagens que, se não forem recicladas, tornam-se resíduo desperdiçado. Deste modo, os autores estudaram a hipótese de alterar o fornecimento do cimento para granel. Para isso, terá de se abastecer na planta do fornecedor utilizando camiões-cisterna e armazená-lo em silos. O transporte para os clientes é feito em navios-cisterna que, chegados aos portos, os contentores são transportados via ferroviária até ao destino final onde o cimento é descarregado diretamente para silos a granel, para onde era feito manualmente, ou para sacos. Desta forma, este novo sistema é mais eficiente em termos logísticos e, por consequência, mais económico.

Num estudo de caso realizado por Faozanudin e Susanto (2019) numa empresa da Indonésia, estes mencionam que a indústria do cimento precisa não só de silos para armazenar o cimento, mas também de infraestruturas para guardar componentes de máquinas, *spare parts*, os sacos de cimento e os produtos finais, tornando-se num forte “*sistema de suporte*”

da indústria. Deste modo, os autores analisam o desempenho do armazém de sacos de cimento da empresa, começando por referir as suas funções:

1. *Procurement* de sacos de cimento e contrato com o fornecedor;
2. Receção e armazenamento dos sacos de cimento;
3. Distribuição dos sacos para o cliente: a divisão de embalagem do cimento.

A empresa utiliza sacos de 40 kg e 50 kg, cuja quantidade em *stock* é mantida para garantir o fornecimento e bom funcionamento do processo de embalagem. Para isso, definiu como nível de *stock* a quantidade suficiente para abastecer o cliente durante, no mínimo 17 dias.

Relativamente ao transporte, Alsop (2001) refere, tal como Cembeureau (2008) citado por Agudelo (2009), que a via rodoviária consegue servir um raio de 300 quilómetros a partir da unidade industrial de forma eficiente. A partir daí, o uso de outros tipos de transporte é mais vantajoso. Para além disso, o autor menciona, ainda, que o carregamento do cimento a granel para um camião é de cerca de 400 toneladas por hora, havendo, também a possibilidade de transportar o cimento em *big bags* com capacidade entre 0.5-2 toneladas, movimentados com empilhadores, sendo, no entanto, normalmente utilizados apenas em situações ocasionais ou como “*armazenamento temporário para plantas de lotes pequenos*”.

O cimento é um produto de baixo valor pelo que o seu transporte não requer veículos especializados (Miura, 2008). No entanto, no transporte de cimento a granel são necessários camiões-cisterna e equipamentos especializados para descarregar o produto que têm de viajar com o camião ou já estar presentes na planta do cliente. A carga dos camiões-cisterna depende da zona da planta do cliente, se é montanhosa ou plana. No caso da primeira, a carga tem de ser inferior para não sobrecarregar o motor (Agudelo, 2009).

Em Sellitto *et al.* (2009), a fábrica de cimento em estudo realiza a expedição do seu produto em sacos de 25 kg e 50 kg ou a granel. O transporte de sacos de cimento é feito com camiões abertos e o cimento a granel é transportado em camiões fechados, mas esta atividade é da responsabilidade do cliente, que se desloca à unidade industrial com o seu próprio veículo ou subcontratado. À sua chegada, o veículo é pesado (tara) e direcionado para o local de carregamento. Após esta operação, é de novo pesado (carga) e a diferença entre a carga e a tara corresponde à quantidade de cimento adquirida. Após o respetivo pagamento, o veículo sai da unidade industrial. Segundo os autores, o tempo de carregamento corresponde ao conjunto de tempos despendidos em:

1. Deslocação do veículo ao local de carregamento;
2. Preparação e carregamento, que depende da carga desejada pelo cliente;
3. Tempo perdido com erros de funcionamento durante o carregamento;
4. Cobertura manual do caminhão com a lona;
5. Deslocação até à balança, pesagem e pagamento.

Vieira *et al.* (2019) realizaram um estudo numa empresa pertencente à cadeia de abastecimento da indústria do cimento que realiza operações de distribuição, nomeadamente pesagem de camiões que entram na planta, carregamento dos mesmos com o produto desejado e pesagem dos camiões depois de carregados. Desta planta é possível estabelecer ligações diretas através da via rodoviária e ferroviária e indiretas via marítima, cujo porto se situa a cerca de 21 km da planta. A recolha de dados para o estudo foi feita abordando várias plantas semelhantes, para além da planta em estudo, e através da literatura. Desta recolha e da análise do artigo foi possível concluir, entre outros aspetos, que:

- Os materiais podem ser armazenados em armazéns ou fornecidos diretamente para silos;
- O transporte rodoviário pode ser realizado com camiões normais, para cimento ensacado, ou camiões-cisterna, para cimento a granel, não podendo um tipo de camião transportar os dois produtos;
- São utilizados equipamentos para armazenar o cimento ensacado no armazém;
- Os carregamentos de cimento ensacado e a granel são efetuados em dois locais distintos da planta;
- Tanto os camiões normais como os camiões-cisterna seguem a regra FIFO na ordem de chegada e de carregamento.

No caso de unidades industriais às quais o cliente se dirige para se abastecer, Macedo *et al.* (2018) referem que essas empresas recebem um elevado número de camiões diariamente, para além de que cada camião pode ter de se deslocar a mais do que um local dentro da unidade. Isto pode gerar problemas de congestionamento e filas de espera se os condutores não conhecerem a unidade e/ou não efetuarem a rota mais eficiente. Deste modo, ao definir uma rota e um ponto de abastecimento num silo para cada veículo, estes problemas irão diminuir, ao mesmo tempo que reduz o tempo de permanência de cada veículo na unidade. Assim, de forma a fornecer um serviço o mais eficiente possível, torna-se necessária a afetação de uma rota específica para cada veículo que se desloca à unidade de abastecimento.

2.4 Análise Crítica

Neste capítulo, foram abordados alguns temas relacionados com o projeto em estudo que visam introduzir e contextualizar o mesmo, com base na literatura. Deste modo, o conceito inicial de Economia Circular, bem presente na literatura atual por ser uma estratégia cada vez mais aplicada, pretende “*substituir o conceito de “fim de vida” pelo da restauração*” (Ellen MacArthur Foundation, 2013, vol.1, pp.7), com o objetivo de poupar ao máximo os recursos naturais. Posto isto, dado que o projeto em estudo visa a utilização das escórias de incineração de resíduos como matéria-prima de outros produtos, procedeu-se à pesquisa de literatura e outros dados relativos à atualidade no que toca tanto a estudos sobre possíveis aplicações das mesmas, como a casos reais onde já são utilizadas. Deste modo, a literatura apresenta diversos artigos sobre a incorporação de escórias em diversos materiais de construção ou a sua utilização como um material de construção substituto de outros, mas poucos há sobre a transformação de escórias num produto de substituição total do cimento, como é o objetivo da Lipor.

No que toca à pesquisa relacionada com as cadeias de abastecimento do cimento e sistemas logísticos de produtos de baixo valor, esta permitiu identificar um número relativamente pequeno de contribuições, mas foram importantes na identificação da especificidade dos produtos e cadeias de abastecimento, assim como requisitos e boas práticas. De destacar:

- A relação entre o consumo de cimento e o ciclo económico que a região onde se insere atravessa, influenciando os níveis de procura por cimento;
- A importância das características do produto no desenho do sistema logístico;
- A adoção de estratégias *Push-Pull* para aumento da flexibilidade e redução de tempo de entrega;
- A necessidade de soluções logísticas de baixo custo quer no armazenamento quer no transporte por se tratar de um produto de baixo valor.

A análise dos artigos, livros e outras plataformas sobre cadeias de abastecimento do cimento permitiu também identificar alguns aspetos críticos, tais como:

- O transporte das matérias-primas retiradas das pedreiras para a unidade industrial é, em norma, efetuado via rodoviária (num raio de 300

quilómetros), ferroviária, marítima ou através de uma tela transportadora, consoante a distância a que a unidade se encontra do local de extração;

- O transporte das matérias-primas dentro da unidade industrial é, normalmente, efetuado através de telas de transporte;
- O armazenamento das matérias-primas utilizadas na produção do cimento e do produto em processo de fabrico é, em regra, feito em silos ou edifícios fechados;
- O produto final é, normalmente, armazenado em silos, podendo, também, ser ensacado;
- O processo produtivo do cimento pode seguir uma estratégia de produção empurrada até certo ponto, a partir do qual segue uma estratégia de produção puxada (*Push-Pull*). O *decoupling point* é definido por cada empresa e, normalmente, encontra-se entre a fase de embalagem e a distribuição do produto final para o cliente, podendo também estar a meio do processo produtivo, permitindo maior customização do produto, mas aumentando o *lead time*;
- O transporte do produto final pode ser assegurado pela empresa produtora de cimento ou pelos clientes com a sua própria frota ou contratada, via rodoviária, ferroviária, fluvial ou marítima;
- O cimento ensacado pode ser transportado por camiões normais e o cimento a granel em camiões-cisterna, por via rodoviária, ou em vagões-cisterna, por via ferroviária;
- O cimento ensacado pode ser enviado para centros de distribuição (retalhistas, grossistas) ou vendido diretamente ao cliente final e o cimento a granel só pode ser vendido diretamente ao cliente final na unidade industrial ou enviado diretamente para o local de construção;
- O cimento ensacado ou em *big bags* é mais facilmente carregado e descarregado dos camiões através do uso de equipamento apropriado, nomeadamente empilhadores. Os pesos destas tipologias de

embalamento variam, normalmente, entre os 25 kg e os 50 kg para sacos e entre as 0,5 t e as 2 t para os *big bags*.

A Tabela 1 apresenta, de forma sistematizada, as diferentes dimensões a incorporar num processo de desenho de uma cadeia de abastecimento (CA) de um produto como o cimento:

Tabela 1 - Síntese da revisão de literatura relativa à CA do cimento

Produto: cimento	Características	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Commodity</i> - Produto em pó - Sensível à humidade e à água - Rácio valor-peso baixo (carga pesada e baixo valor)
	Variedade	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa
	Clientes	<ul style="list-style-type: none"> - Empresas de betão - Grossistas e Retalhistas - Governo, juntamente com grandes empresas de construção
CA e Processos logísticos	Estratégia de CA	<ul style="list-style-type: none"> - MTS, ATO (GTO, PTO)
	Tipologia de embalamento	<ul style="list-style-type: none"> - Granel - Sacos - <i>Big bags</i>
	Armazenamento	<ul style="list-style-type: none"> - Silos (granel) - Armazém fechado (sacos e <i>big bags</i>)
	Modos de transporte	<ul style="list-style-type: none"> - Matérias-primas: rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial ou através de telas transportadoras - Produto em curso de fabrico: telas transportadoras - Produto final: rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial
	Veículos de transporte	<ul style="list-style-type: none"> - Camiões-cisterna (granel e via rodoviária) - Vagões-cisterna (granel e via ferroviária) - Camiões de caixa fechada (sacos e via rodoviária)

Assim, a revisão de literatura permitiu responder parcialmente às duas primeiras questões de investigação, no que toca aos desafios associados ao projeto de um sistema logístico e pontos críticos na definição do mesmo.

3. CASO DE ESTUDO

Com este capítulo pretende-se apresentar a entidade em estudo, a Lipor, nomeadamente a sua missão, visão, valores e as suas atividades principais, para além do novo projeto que a Lipor pretende implementar, o projeto de valorização das escórias, para o qual esta dissertação apresenta uma solução logística. Para isso, será, também, descrito e analisado neste capítulo o processo de formação das escórias, o seu destino final e a cadeia de abastecimento da Central de Valorização Energética (sistema logístico atual).

3.1 A Lipor

A Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto é responsável pela gestão, tratamento e valorização dos Resíduos Urbanos (RU) formados nos municípios do Porto, Gondomar, Matosinhos, Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Maia, Valongo e Espinho. Nasceu a 12 de novembro de 1982 como Associação de Municípios (Espinho, Gondomar, Maia, Porto e Valongo), juntando-se mais tarde os municípios de Matosinhos, Vila do Conde e Póvoa de Varzim. É uma empresa pública sem fins lucrativos. Tem como atividades principais a Valorização Orgânica, a Valorização Energética, a Valorização Multimaterial, o Confinamento Técnico e a Educação Ambiental com o Programa Educação e Intervenção Ambiental, juntamente com campanhas de sensibilização.

3.1.1 Missão, Visão e Valores

A Lipor tem como Missão *“Transformar resíduos em novos recursos pela implementação de práticas inovadoras e circulares, gerando e compartilhando valor”*. A sua Visão passa por querer *“estar no mercado global e criar tendências para o futuro sustentável”*. Tem como Valores fundamentais: *“Ser Ambicioso e apaixonado; Ser Criativo e pensar positivo; Ser Responsável e rigoroso; Ser Ético e Ser EQUIPA!”* (Lipor, 2020)

3.1.2 Identificação e Localização

A Lipor possui dois polos: a LIPOR I e a LIPOR II. A LIPOR I situa-se em Baguim-do-Monte, concelho de Gondomar, distrito do Porto e contém o Centro de Triagem, a Central de

Valorização Orgânica, a Central de Valorização de Biogás, a Central Fotovoltaica, o Edifício Administrativo, o Parque Aventura e a Horta da Formiga. Na LIPOR II, situada em Crestins, concelho da Maia, distrito do Porto, localizam-se a Central de Valorização Energética (CVE) e o Aterro Sanitário.

3.1.3 Atividade

Valorização Orgânica

Como foi referido, no Pólo 1 encontra-se a Central de Valorização Orgânica. Atualmente, tem capacidade para valorizar 60 mil toneladas de matéria orgânica por ano, proveniente da recolha de resíduos biodegradáveis (resíduos alimentares e resíduos verdes) de restaurantes, cantinas, etc. Após uma cuidadosa separação, tratamento e compostagem da matéria, obtém-se um corretivo agrícola de alta qualidade, o Nutrimais, que, após embalagem, é comercializado.

Valorização Multimaterial

Também no Pólo 1 situa-se o Centro de Triagem, responsável pela triagem mais fina dos resíduos provenientes de Ecopontos, Ecocentros, circuitos de recolha Porta-a-Porta e circuitos especiais (Ecofone) com o objetivo de serem, posteriormente, reciclados. Após a triagem, os materiais são prensados formando fardos de 1 metro cúbico e armazenados, aguardando o transporte para as indústrias recicladoras.

Valorização Energética

A Central de Valorização Energética (CVE), situada no Pólo 2, dedica-se à incineração de resíduos que não são aproveitados para compostagem ou reciclagem e todos os provenientes do contentor de resíduos indiferenciados, os Resíduos Urbanos Indiferenciados (RUI), produzindo energia elétrica. Anualmente, a CVE tem capacidade para tratar cerca de 380 mil toneladas de resíduos, traduzindo-se em, aproximadamente, 170 mil MWh de energia elétrica, que corresponde às necessidades anuais de abastecimento duma população de 150 mil habitantes. Cerca de 10% da energia produzida é utilizada para abastecer as instalações da LIPOR II, deslocando-se os restantes 90% para a rede pública de energia elétrica, através de um posto de transformação integrado no recinto da LIPOR II.

Confinamento Técnico

O Confinamento Técnico consiste na deposição de RUI no Aterro Sanitário localizado na LIPOR II e é o último estágio do sistema global de gestão de resíduos. Destina-se a receber os subprodutos resultantes do processo de incineração dos resíduos da CVE e os RUI quando não podem ser enviados para a CVE, devido às suas características particulares ou às paragens programadas da central para manutenção. Esta última atividade acontece apenas uma ou duas vezes por ano durante um mês consecutivo. Apesar da sua duração, não são depositados em aterro resíduos correspondentes a esse período de tempo, uma vez que é possível realizar a incineração de alguns RUI durante o período de manutenção.

Educação Ambiental

A Lipor dedica-se também à Educação Ambiental através da consciencialização ambiental das populações. Para isso, tem o Programa Educação e Intervenção Ambiental (PEIA) cuja função é *“criar uma oferta educativa que promova o compromisso dos cidadãos com boas práticas ambientais, facilitando a aquisição de competências promotoras de maior intervenção cívica, capazes de alimentar o crescimento e a consolidação de processos ambientalmente responsáveis e sustentáveis”*.

3.2 Novo projeto – Projeto de Valorização das Escórias

A Lipor está a estudar a hipótese de iniciar um novo projeto que tem em vista a total utilização das escórias resultantes da incineração de resíduos na CVE de forma a que estas deixem de ser depositadas em aterro. Este projeto pretende criar um processo que transforme as escórias num produto substituto do cimento e dispô-lo no mercado. Os desafios que se colocam são o estudo do melhor método de tratamento das escórias de forma a que o produto final responda às necessidades satisfeitas pelo cimento, assim como a dificuldade de entrada no mercado de um produto ecológico que pretende ser uma alternativa sustentável ao segundo produto mais utilizado no mundo. Adjacente a estes desafios, está a necessidade de estruturar um sistema logístico eficiente e adaptável que acompanhe este projeto ao longo do tempo, tendo em conta o baixo valor das escórias.

3.3 Descrição e análise do sistema logístico existente na CVE

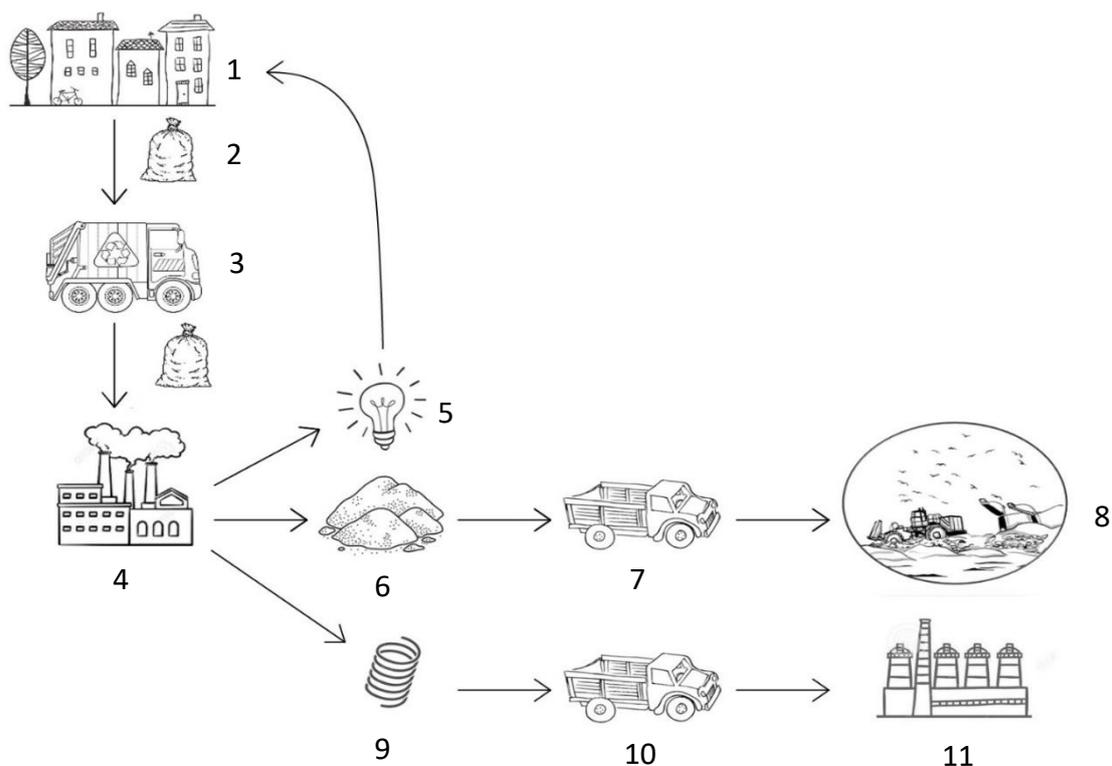
Este ponto é uma exposição da atividade da LIPOR II, nomeadamente o processo de incineração dos RUI, que leva à formação das escórias, e todo o processo logístico necessário, como recursos e capacidades, na deposição das mesmas no seu destino final atual.

Com esta exposição pretende-se perceber melhor a origem deste resíduo de incineração e a CA atual da Central de Valorização Energética.

A descrição do processo de incineração de RUI foi efetuada através das informações obtidas numa visita à CVE, onde todo o processo foi esclarecido, e no *site* da Lipor. Relativamente aos dados presentes no subcapítulo do destino final atual das escórias, estes foram fornecidos pela Lipor, uma vez que a mesma regista esses dados.

3.3.1 Processo de Incineração dos RUI e formação das escórias

Este subcapítulo é, então, uma apresentação do processo de incineração dos RUI, do qual resultam as escórias (Figura 7). Inicia-se com um esquema da atual cadeia de abastecimento da CVE (Figura 3).



Legenda:

- | | |
|---|--|
| 1. Residências e outros produtores de RUI | 7. Transporte das Escórias para aterro |
| 2. RUI | 8. Aterros Sanitários |
| 3. Recolha e Transporte dos RUI | 9. Metais ferrosos |
| 4. CVE | 10. Transporte dos metais ferrosos |
| 5. Produção de Energia Elétrica | 11. Retomadores |
| 6. Produção de Escórias | |

Figura 3 - Cadeia de Abastecimento atual da CVE

Na CVE procede-se à incineração com valorização energética de Resíduos Urbanos Indiferenciados (RUI) para produzir energia elétrica. Os RUI são todos os resíduos que não são separados pela população, recolhidos dos contentores de resíduos indiferenciados.

O processo de valorização energética inicia-se com a pesagem dos veículos de recolha dos RUI numa báscula com dispositivo automático de pesagem na portaria da LIPOR II, deslocando-se depois para a central, onde depositam os RUI na fossa de receção dos mesmos (Figura 4A). Esta fossa situa-se num edifício fechado e depressionado com uma área de 18000 m³. Na sala de controlo, um operador manobra um póliplo de garras (Figura 4B) que transporta cerca de 4 toneladas de resíduos de cada vez da fossa para

as 2 linhas de tratamento, através das tremonhas de alimentação. Daí os resíduos caem diretamente na grelha de incineração, inclinada 26° sobre a horizontal, onde são queimados a uma temperatura entre os 1000 e os 1200°C. O combustível são os próprios RUI e o ar utilizado na combustão vem de dois ventiladores: o de ar secundário e o de ar de combustão. O ventilador de ar secundário captura o ar da fossa de receção de modo a mantê-la a pressões negativas, garantindo que os maus odores não escapam para o ambiente externo.

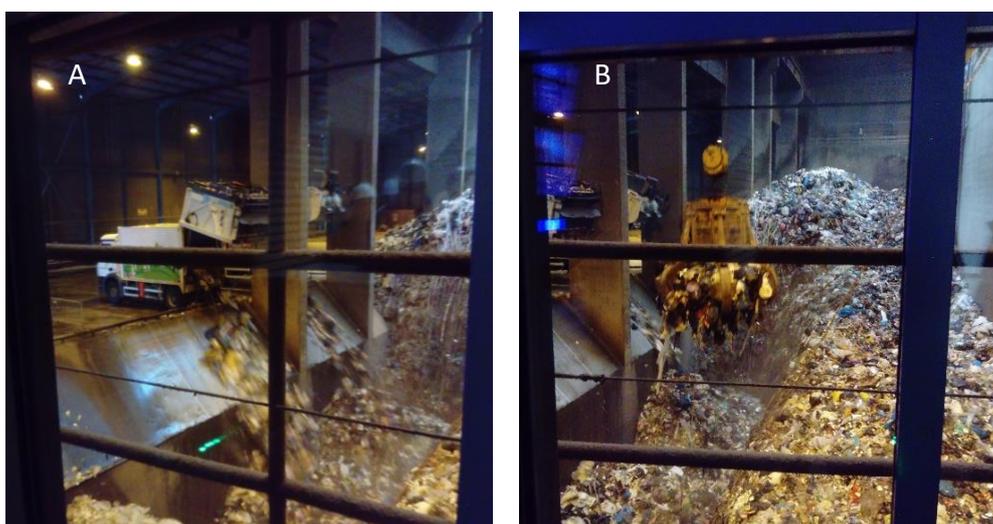


Figura 4 - Fossa de deposição de RUI. A) Deposição dos RUI na fossa; B) Pólipo de garras e RUI (Declaração de autorização do uso das fotografias no Anexo 1)

A incineração dos RUI produz gases a elevadas temperaturas (cerca de 950°C) que aquecem a água de uma caldeira. Os vapores gerados desse aquecimento fazem movimentar uma turbina, transformando-se depois a energia mecânica em energia elétrica. A água da caldeira é 100% pura, de modo a não comprometer as pás da turbina. De seguida, o vapor de água segue para um aerocondensador onde arrefece e condensa, voltando novamente para a caldeira, criando um circuito fechado, sem comprometer a pureza da água.

Os gases poluentes formados com a incineração passam por uma série de tratamentos, incluindo uma injeção de ureia na câmara de combustão, para reduzir a emissão de gases poluentes, e uma pulverização de leite de cal (mistura de água e cal) no reator que neutraliza os ácidos e favorece a condensação de metais pesados ao reduzir significativamente a temperatura, entre outros processos. Finalmente, os filtros de mangas retêm as partículas sólidas que se arrastam com os gases, retirando as cinzas

volantes, que consistem num resíduo perigoso. Atualmente estas cinzas são enviadas para um centro de tratamento de resíduos perigosos, uma vez que a parte do aterro onde se destinavam as cinzas inertizadas atingiu a quota máxima.

Após o tratamento dos gases, estes podem ser libertados pela chaminé em níveis seguros para o ambiente, havendo sempre um controlo automático das propriedades dos gases que estão a ser libertados para garantir que estão dentro dos limites impostos por lei.

Na câmara de combustão criam-se escórias, ou cinzas de fundo da fornalha, que se acumulam sobre a grelha e são removidas e arrefecidas pelo extrator de escórias. As escórias são compostas por todos os materiais que não queimam a temperaturas entre os 1000°C e os 1200°C como é o caso dos metais ferrosos e não-ferrosos, vidro, porcelana, minerais, cerâmicas e materiais não queimados, para além de cinzas.

Estas passam depois por um crivo que retira as escórias de maior dimensão (Figura 5A). As que não ficam retidas no crivo avançam num transportador vibrante em direção à separação magnética que retira os cerca de 70%/80% dos metais ferrosos presentes nas escórias. Estes metais acumulam-se numa fossa (Figura 5B) e, posteriormente, são colocados numa tremonha e enviados para retomadores. As escórias sem os metais ferrosos depositam-se noutra fossa (Figura 5C). Uma vez que há 2 linhas de tratamento, há duas fossas para escórias sem metais ferrosos: uma com uma capacidade para 400 m³ de escórias e a outra para 500 m³. Aqui aguardam pela sua colocação nas tremonhas para serem, depois, transportadas para o seu destino. A produção deste resíduo na Lipor é de cerca de 200kg por tonelada de RUI e tem uma densidade entre as 2-2,5 t/m³.



Figura 5 - Fotografias de: A) Crivo; B) Fossa de metais ferrosos; C) Fossa de escórias sem 70/80 % de metais ferrosos (Declaração de autorização do uso das fotografias no Anexo 1)

Na tabela seguinte (Tabela 2) estão dispostas as quantidades médias e aproximadas de resíduos incinerados anualmente, diariamente e por hora na CVE e as respectivas produções de escórias.

Tabela 2 – Capacidades de incineração de resíduos e produção de escórias

Espaço temporal	Toneladas de RUI incinerados (aprox.)	Toneladas de escórias produzidas (aprox.)
Por ano	380.000*	70.000
Por dia	1.100*	200
Por hora	46	8

*dados retirados do *site* da Lipor

3.3.2 Destino final atual das escórias

Atualmente, as escórias são depositadas em aterros, não pertencentes à Lipor que distam cerca de 40km da CVE e, pontualmente, são utilizadas pela Lipor, tanto para cobrir o Aterro Sanitário da LIPOR II como para a realização de acessos e caminhos.

A passagem das escórias da fossa para as tremonhas é feita por um pólipó de garras controlado por um trabalhador (Figura 6A). A CVE tem quatro tremonhas de escórias que despejam o seu conteúdo para camiões de caixa aberta. Cada camião é abastecido por três tremonhas de escórias (Figura 6B). Quando carregados, as escórias são cobertas manualmente com uma lona pelo condutor e transportadas para o aterro. Antes de serem carregados, os camiões são pesados à entrada da LIPOR II e, depois de carregados, são novamente pesados à saída. A diferença entre os dois pesos corresponde à carga de escórias transportadas para aterro. Este serviço de transporte das escórias entre a CVE e os aterros é subcontratado, pelo que a Lipor não dispõe de camiões nem trabalhadores próprios para este serviço.



Legenda:

1. Fossas de escórias e metais ferrosos
2. Pólipos de garras
3. Tremonhas
4. Acesso dos camiões

Figura 6 - Local de armazenamento das escórias e metais ferrosos. A) Pólipos de garras; B) Perspetiva do acesso dos camiões, tremonhas e fossas.

(Declaração de autorização do uso das fotografias no Anexo 1)

Os pesos de entrada e saída e o tempo de carregamento de cada camião são registados pela Lipor. Não foi possível obter esses dados; apenas as estatísticas correspondentes a três dias de atividade normal para análise, que são as seguintes:

- A quantidade média de escórias depositadas em aterro em cada viagem é de 31 toneladas, com um desvio-padrão de 1,5 toneladas.
- Os tempos de carregamento variam entre 4 e 30 minutos, com um valor médio de, aproximadamente, 13 minutos e desvio-padrão de 7. O tempo de carregamento corresponde à diferença entre a hora da pesagem final e a hora da pesagem inicial. Os valores mais altos nos tempos de carregamento devem-se, principalmente, à criação de filas de espera no momento de carregamento, após a pesagem inicial, por já se encontrar um camião a ser abastecido ou quando as tremonhas ainda não estão cheias e o camião tem de aguardar pelo seu preenchimento para serem carregados.

- Por dia, são efetuadas, em média, cerca de 7 viagens entre a CVE e o aterro, visto que cada caminhão transporta, em média 31 toneladas em cada viagem e a CVE produz diariamente cerca de 200 toneladas de escórias.

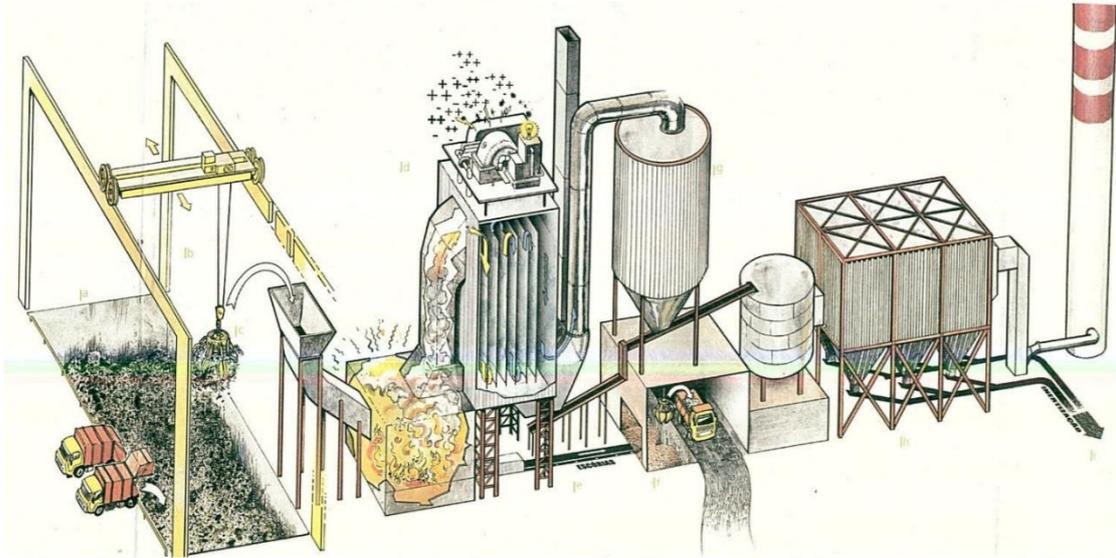


Figura 7 - Ilustração da CVE
(Port' Ambiente)

4. METODOLOGIA

O presente capítulo irá apresentar uma metodologia para o desenvolvimento de uma proposta para a cadeia de abastecimento e sistema logístico do projeto de valorização das escórias de incineração de resíduos.

A metodologia a utilizar é adaptada da metodologia proposta por Mansoornejad, Pistikopoulos e Stuart (2013) e parte da definição do produto e da tecnologia usada para a sua produção, para o desenho da cadeia de abastecimento e dos processos logísticos associados. A incerteza associada à volatilidade do mercado de trabalho e às diferentes alternativas no desenho das soluções é explorada usando cenários alternativos, tal como ilustrado na Figura 8 e detalhadas nas secções seguintes:



Figura 8 - *Framework* para o desenho da cadeia de abastecimento do projeto de valorização das escórias

A metodologia aqui proposta é genérica e será adaptada ao caso da Lipor no capítulo seguinte.

4.1 Definição do portfólio do produto e do processo produtivo

Numa primeira fase será necessário analisar o(s) produto(s) e as características do seu processo produtivo a fim de que seja possível, numa segunda fase, definir a cadeia de abastecimento.

O processo de criação da solução logística será, então, iniciado pela análise do produto a ser comercializado, uma vez que, segundo Huang *et al.* (2002, pp.193), este é o “*fator mais importante para a seleção de uma cadeia de abastecimento*”. Os parâmetros a considerar na análise do produto foram selecionados com base nos artigos de Pero *et al.* (2010), Childerhouse *et al.* (2020), Christopher & Towill (2001), Huang *et al.* (2002), Hilletofth (2012) e Fisher (1997) e nos livros de Ballou (2004) e Kasilingam (1998) e estão expostos na seguinte tabela:

Tabela 3 - Parâmetros a considerar na análise do produto

Produto	Características Físicas	- Rácio peso-volume (densidade) - Rácio valor-peso - Restrições - Características de risco
	Mercado	- Clientes - Procura - Ciclo de vida
	Variedade	- Nº de SKU* e modularidade
	Tipo de produto	- <i>Commodity</i> , Inovador

**Stock Keeping Unit*

De seguida, apresentam-se os parâmetros da produção necessários a considerar aquando do desenho da cadeia de abastecimento. Deste modo, os parâmetros definidos foram a seleção dos fornecedores de matérias-primas, embalagens, *etc.*, o *lead time* do processo produtivo e dos fornecedores e a capacidade produtiva do processo (Tabela 4) e tiveram por base os artigos de Kaipia e Holmström (2007), Christopher e Towill (2002), Huang *et al.* (2002) e Christopher e Towill (2001).

Tabela 4 - Parâmetros a considerar na análise do processo produtivo

Produção	Fornecedores	- Matérias-primas, embalagens, etc.
	Capacidade produtiva	- Produção por hora, dia, semana, mês e ano
	Lead Time	- Dos fornecedores e processo produtivo

4.2 Definição da cadeia de abastecimento

A definição da cadeia de abastecimento deve ter em conta as características do(s) produto(s), do processo produtivo e da estratégia da cadeia de abastecimento.

Definidos e esclarecidos os parâmetros do produto e da produção, será possível determinar o tipo de CA e a sua estratégia, tendo por base os estudos de Christopher e Towill (2001), Christopher e Towill (2002), Fisher (1997), Hilletofth (2012), Huang *et al.* (2002), Kaipia e Holmström (2007) e Pero *et al.* (2010) e de Ballou (2004):

Tabela 5 - Características da cadeia de abastecimento a definir

Cadeia de Abastecimento	Tipo	- Ágil, <i>lean</i> ou híbrida
	Estratégia	- MTO, BTS, PTO, ATO, etc. – <i>decoupling point</i>

Nesta fase é importante a definição da estratégia a adoptar e que determina o grau de flexibilidade da cadeia, em termos da gestão dos materiais: produção para *stock* ou por encomenda ou ainda uma solução híbrida, definida através do *decoupling point*.

Dependendo da estratégia de desenho de cadeia e do processo associado à produção dos produtos, é necessário identificar se as instalações e os recursos existentes têm capacidade para acomodar os novos processos decorrentes da produção dos novos produtos, ou se há necessidade de recorrer a novas instalações e/ou recursos para os processos de armazenagem e transporte. Questões como a localização, dimensão e capacidade de novas infraestruturas devem ser equacionadas, assim como, questões relacionadas com a eventual subcontratação de alguns recursos ou atividades logísticas.

4.3 Definição dos processos logísticos

Após a definição do tipo de CA e das estratégias, apresentam-se os parâmetros da armazenagem (Tabela 6) e transporte (Tabela 7) do produto. Os parâmetros da armazenagem foram baseados nos estudos de Hassan (2002) e Bartholdi e Hackman (2014), nos livros de Bowersox e Closs (1996) e na revisão de literatura da cadeia de abastecimento do cimento. Os do transporte foram sustentados pelo artigo de Stank e Goldsby (2000), nos livros de Ballou (2004) e Kasilingam (1998) e nos capítulos de revisão de literatura da cadeia de abastecimento do cimento e da logística de produtos de baixo valor.

Tabela 6 - Parâmetros da armazenagem

Armazenagem	Requisitos	- Do produto - Investimento
	Tipos de embalagem e formas de armazenamento	- Caixas, Sacos, <i>big bags</i> - Estanteria, em pilha, a granel
	Equipamentos	- <i>Handling</i>
	Dimensão do armazém	- Nível médio de inventário - Espaço para movimentação e armazenagem - Escritórios - <i>Layout</i> : receção, armazenamento, preparação e expedição - Margem para crescimento
	Local de armazenagem	- Armazém público, privado ou contratado - Localização - Nº de instalações
	Rotação de <i>stock</i>	- FIFO, LIFO
	Mão-de-obra	- Equipamentos de <i>handling</i> - Escritório

Tabela 7 - Parâmetros do transporte

Transporte	Requisitos	- Do produto - Fluxos necessários – <i>inbound</i> , <i>outbound</i>
	Modos e veículos de transporte	- Rodoviário, ferroviário, hidroviário, aéreo, <i>pipeline</i> - Camiões, Camiões-cisterna, caixa aberta, contentores, tela transportadora, <i>etc.</i>
	Estratégias	- <i>Single-mode</i> ou intermodal - Transporte próprio; subcontratado; do cliente/fornecedor - Nº de veículos
	Equipamentos extra	- Carga e descarga

Relativamente aos sistemas de informação (SI), estes serão necessários para unir toda a cadeia de abastecimento, entre fornecedores até aos clientes. Deste modo, a Tabela 8 apresenta as aplicações de SI das CA's, baseadas no livro de Ballou (2004) e Bowersox e Closs (1996).

Tabela 8 - Parâmetros a considerar na análise dos sistemas de informação

Sistemas de Informação	Transferência Eletrónica de Dados - <i>Order Management System (OMS)</i> - <i>Warehouse Management System (WMS)</i> - <i>Transportation Management System (TMS)</i>	Equipamentos e Software
	Codificação de Produtos e Leitura automática	
	Inteligência Artificial	

4.4 Desenho e análise de cenários

Identificadas as várias alternativas viáveis para o desenho, estratégia e processos da Cadeia de Abastecimento é possível criar cenários que permitam comparar diferentes estratégias.

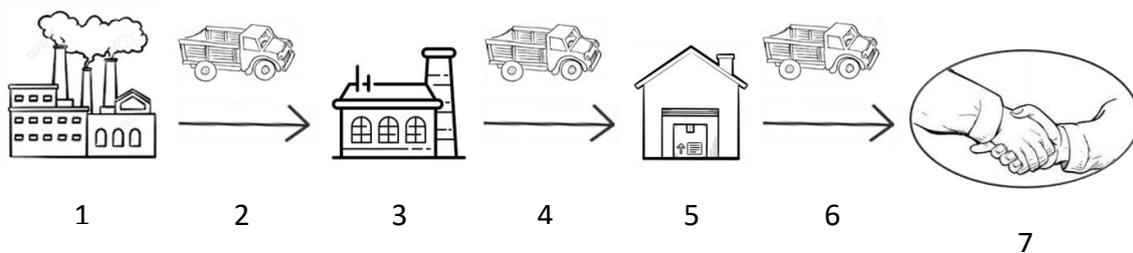
Para cada cenário deverá ser possível identificar os custos associados às diferentes configurações da cadeia em análise (investimentos, custos de subcontratação, etc).

A comparação das alternativas deverá ter em conta diferentes condições de mercado (cenários pessimistas, neutros e otimistas), diferentes políticas de preços e, eventualmente, diferentes horizontes de planeamento.

A comparação final das alternativas deverá ser feita com base em alguns indicadores como o lucro ou o grau de flexibilidade (capacidade de resposta a mudanças da procura), por exemplo.

5. PROPOSTA DE SISTEMA LOGÍSTICO PARA O PROJETO DE VALORIZAÇÃO DAS ESCÓRIAS

Neste capítulo será apresentada uma proposta para a cadeia de abastecimento e sistema logístico do projeto de valorização das escórias de incineração de resíduos de acordo com a metodologia proposta no capítulo 4, com o objetivo de se obter a melhor solução logística com base nas características da cadeia de abastecimento do novo produto, as escórias micronizadas.



Legenda:

1. Produção de escórias na CVE
2. Transporte de escórias
3. Planta de tratamento das escórias
4. Transporte das escórias micronizadas
5. Armazenamento das escórias micronizadas
6. Transporte das escórias micronizadas
7. Clientes

Figura 9 - Cadeia de Abastecimento do novo projeto de Valorização das Escórias

A Figura 9 ilustra a cadeia de abastecimento do novo projeto, a qual se inicia com a produção de escórias de incineração de resíduos provenientes da CVE. Atualmente estas escórias são transportadas para aterros que distam cerca de 40km da LIPOR II (como foi referido no subcapítulo 3.3) através de camiões com báscula. Para este projeto será necessário o transporte das escórias para a planta de tratamento das mesmas (antiga planta de inertização das cinzas) que se localiza na LIPOR II a uns metros da CVE. Uma vez que não se prevê a utilização da totalidade das escórias produzidas pela CVE neste projeto numa fase inicial, irá haver a execução simultânea de ambas as operações, micronização e deposição em aterro. No entanto, esta dissertação apenas apresenta os processos estritamente relacionados com o projeto, pelo que o transporte das escórias refere-se apenas ao transporte para o local de tratamento das mesmas. Neste

momento, as escórias permanecem em fossas na CVE até ao seu transporte para aterro. Antes do seu tratamento, as escórias irão permanecer nas fossas até serem necessárias, ou seja, quando se quiser produzir escórias micronizadas, um camião deverá ser carregado com a quantidade de escórias desejada e descarregado diretamente no alimentador do processo. Para produzir as escórias micronizadas apenas são necessárias as escórias da CVE e energia elétrica, pelo que não haverá necessidade de armazenar matérias-primas no armazém afeto ao projeto. Contudo, a partir do momento em que estão tratadas, aí sim, as escórias micronizadas deverão ser armazenadas. Para o efeito, considerou-se a possibilidade de efetuar o armazenamento das mesmas na LIPOR II, dentro da planta de tratamento das escórias (antiga planta de inertização das cinzas), através de sacos ou *big bags*, ou num silo no exterior da planta. No caso da utilização de sacos ou *big bags*, o armazém deverá ter espaço para armazenar também aqueles que não estão a ser utilizados. O transporte dependerá do tipo de armazenamento escolhido e poderá ser efetuado por empilhadores ou por algum tipo de equipamento que permita o transporte automático.

Assim que a encomenda estiver finalizada, será entregue ao cliente, pelo que há também aqui uma necessidade de transporte.

5.1 Definição do portfólio do Produto

Com este projeto, a Lipor pretende transformar as escórias num produto substituto do cimento. Para isso será necessário efetuar um processo de tratamento das mesmas que consiste na remoção de metais e na micronização, de forma a ficarem em pó. Este ponto irá analisar as características físicas do produto, o seu mercado, a variedade e o tipo de produto.

5.1.1 Características físicas

As escórias micronizadas são um produto em pó de muito baixo valor, por se tratar de um resíduo de incineração, pelo que o **rácio valor-peso** é muito baixo.

No que toca ao **rácio peso-volume**, ou densidade, este é de 1,874 g/cm³.

Tratando-se de um produto em pó, tem como **restrições** o contacto com a água e a exposição ao vento. As **características de risco**, segundo Ballou (2004) referem-se à perecibilidade, inflamabilidade e tendência do produto para explodir ou ser furtado.

Posto isto, as escórias micronizadas não têm prazo de validade, pelo que não é um produto perecível, não são inflamáveis nem têm tendência para explodir. O seu furto não é uma possibilidade com uma probabilidade elevada, uma vez que se trata de um produto de baixo valor e de difícil transporte. Para além disto, as escórias micronizadas são consideradas um resíduo não inerte, mas também não são consideradas resíduo perigoso, pelo que não é um material que ponha em risco os trabalhadores que entrem em contacto com o mesmo.

5.1.2 Mercado

A Lipor pretende ter como **clientes** empresas de pré-fabricados de betão.

Para transformar as escórias micronizadas num ligante é necessário misturar um ativador (tal como o cimento, quando misturado com água para produzir betão), denominado silicato de sódio. A escolha dos clientes justifica-se pelo facto de que, quando se misturam as escórias micronizadas com o silicato de sódio, a reação química entre os dois é de tal modo rápida que a mistura solidifica em poucos minutos. Assim, nesta fase, pensa-se que a utilização mais apropriada das escórias micronizadas será a de pré-fabricação uma vez que estas empresas misturam os dois produtos e vertem de imediato para os moldes, obtendo o seu produto final de forma mais célere.

No Apêndice 1 encontra-se uma Análise de Mercado das escórias micronizadas com a qual se concluiu que há um crescente interesse em produtos ecológicos e uma evolução na procura de cimento, que são indicadores de um possível crescimento na procura pelas escórias micronizadas ao longo dos anos, até um limite de produção de 70 000 toneladas anuais.

O **ciclo de vida** de um produto apresenta, normalmente, quatro fases: introdução, crescimento, maturidade e declínio. A fase da introdução caracteriza-se pela entrada do produto no mercado, onde apenas há a previsão da procura e as vendas são baixas, subindo lentamente. Na fase de crescimento, segundo Levitt (1965) a *“procura começa a acelerar e o tamanho do mercado expande rapidamente”*. Na terceira fase, a da maturidade, o mercado está saturado, não se espera que haja um crescimento na procura e já não há canais de distribuição por preencher. Aqui o preço torna-se o fator competitivo. Esta fase *“pode passar rapidamente (...) ou durar dezenas de anos, sem que o mercado per capita diminua (...) ou diminua de forma lenta e gradual”*. Finalmente, a

fase do declínio caracteriza-se pelo decréscimo das vendas devido à perda de interesse dos consumidores pelo produto e pelo desaparecimento de empresas.

Apesar das escórias micronizadas serem um produto novo no mercado, estas vêm substituir o cimento, um produto presente no mercado há quase dois séculos. O cimento é, por isso, um produto que está na fase de maturidade, uma vez que não apresenta subidas nem decréscimos abruptos nas vendas, estando apenas dependente do ciclo económico do momento. Enquanto não existir um produto que substitua totalmente o cimento, este irá permanecer no mercado por ser um elemento básico e essencial em qualquer construção.

As escórias micronizadas pretendem ser esse substituto do cimento. No entanto, é um produto novo, pelo que irá passar pela fase da introdução e, se tudo correr bem, crescer e chegar à maturidade. Não se espera que apenas a Lipor seja capaz de substituir totalmente a indústria do cimento em Portugal porque não tem capacidade para isso, mas, quem sabe, ser o pioneiro da produção de produtos substitutos do cimento com base em resíduos.

Assim, se as escórias micronizadas entrarem no mercado, estarão na fase da introdução, mas espera-se que o seu mercado cresça e permaneça na fase da maturidade por muitos anos.

5.1.3 Variedade

A variedade determina-se pelo número de SKU's de um produto ou pela sua modularidade. As escórias micronizadas têm, por enquanto, apenas uma variante, pelo que existe apenas um SKU, ao contrário do cimento que apresenta algumas SKU's devido às diferentes adições efetuadas no cimento consoante o efeito desejado. De futuro, poderão fazer-se diferentes formulações do produto, o que aumentaria o número de SKU. Nesse caso, o sistema logístico deverá garantir uma gestão adequada das diferentes variedades, começando por se perceber em que ponto da CA ocorre a diferenciação, incluir uma codificação dos diferentes produtos e a alocação dos mesmos em armazém, ou em diferentes silos, de forma a facilitar a gestão da distribuição. Poderá ser necessário, também, efetuar análises da procura para os diferentes tipos de produto e perceber se são substituíveis entre si no caso de rutura de *stock* de um deles, entre

outros aspetos que iriam aumentar a complexidade ao nível do planeamento e do armazém.

Relativamente à modularidade, as escórias micronizadas não são um produto produzido através de módulos, pelo que não é necessário ter em conta este aspeto.

Pode, assim, concluir-se que, à presente data, a variedade das escórias micronizadas é muito baixa e a modularidade é nula.

5.1.4 Tipo de Produto

Os tipos de produto mais comuns são *commodities* e produtos inovadores, ou *fashion goods*. O cimento é um produto presente no mercado há dezenas de anos, sem sofrer grandes alterações e cuja procura é relativamente previsível, pelo que é um *commodity*. Uma vez que as escórias micronizadas pretendem entrar no mercado como um produto substituto do cimento, poderão, também, ser consideradas um *commodity*, uma vez que, apesar de no início a sua procura poder vir a ser imprevisível, esta acabará por se tornar previsível ao longo dos anos, para além de que, também, não consta que venham a sofrer alterações.

5.2 Processo produtivo

Todos os parâmetros da produção definidos na metodologia são aplicáveis a este projeto.

5.2.1 Fornecedores

O processo de produção das escórias micronizadas caracteriza-se por apenas precisar de uma matéria-prima: as escórias resultantes da incineração de resíduos urbanos, provenientes da Central de Valorização Energética. Deste modo, o único fornecedor de matérias-primas é a CVE.

5.2.2 Capacidade produtiva

O processo de tratamento das escórias é um processo contínuo desde o momento em que estas são colocadas no alimentador até ao momento em que estão transformadas em escórias micronizadas. O processo tem uma capacidade produtiva de 250 toneladas de escórias micronizadas por dia, ou seja, 10 ciclos de produção diária. Porém, a CVE

apenas produz cerca de 200 toneladas de escórias por dia. Deste modo, para este projeto é importante também analisar as expectativas de crescimento ou decréscimo da produção de escórias na CVE, para perceber a possibilidade de aumento da produção de escórias micronizadas no futuro. Posto isto, atualmente, a CVE opera na sua capacidade máxima, funcionando 24 horas por dia, 7 dias por semana, ou seja, mesmo que houvesse um crescimento na produção de resíduos indiferenciados por parte da população, a central não teria recursos disponíveis para incinerar mais resíduos diariamente. A Lipor irá, no entanto, num futuro breve, alargar a recolha seletiva de resíduos orgânicos com vista à sua valorização, o que levará à redução desta componente nos resíduos indiferenciados. Deste modo, a quantidade de resíduos para incinerar poderia reduzir. Contudo, a Lipor recebe frequentemente pedidos de outros centros de tratamento de resíduos que não possuem instalações de incineração para queimar os seus resíduos indiferenciados na CVE da Lipor. Assim, mesmo que se avance com o projeto de remoção dos resíduos orgânicos dos resíduos indiferenciados, essa falta poderá, eventualmente, ser compensada pelos resíduos de outros concelhos atualmente não abrangidos pela Lipor.

Concluindo, não se prevê que haja um aumento nem uma redução na produção de escórias na CVE, pelo que se manterá nas 70 000 toneladas anuais, aproximadamente. Assim, o máximo de produção de escórias micronizadas possível, trabalhando 24 horas por dia, 7 dias por semana, será a seguinte:

Tabela 9 - Capacidade produtiva do processo de tratamento das escórias

Espaço temporal	Toneladas de escórias micronizadas produzidas (aprox.)
Por ano	70 000
Por dia	200

5.2.3 Tempo de Aprovisionamento

Segundo o CSCMP (2013), tempo de aprovisionamento ou *lead time* corresponde ao “tempo entre a colocação de uma encomenda e o seu recebimento” que “inclui o tempo necessário para transmissão do pedido, processamento, preparação e envio da encomenda.”

A CVE trabalha 24 horas por dia, 7 dias por semana, pelo que a produção de escórias é constante. Sendo o único fornecedor de matérias-primas do projeto, o único *lead time* de fornecedores é o da CVE que, tendo produção constante, irá corresponder ao tempo de transmissão do pedido de encomenda, preparação e envio da mesma, ou seja, o transporte das escórias entre as fossas de deposição das escórias e a planta de tratamento das mesmas. O *lead time* será, então, curto, uma vez que a CVE e a planta se encontram na LIPOR II. O tempo de ciclo de uma tonelada de escórias é de 7,2 minutos. Se considerarmos o tempo de ciclo de 25 toneladas (capacidade máxima do alimentador), este será de 3 horas.

5.3 Definição da Cadeia de Abastecimento

O tipo de CA (ágil, *lean* ou híbrida) é definido consoante as características do produto, produção e do mercado. Por norma, uma CA *lean* caracteriza-se por seguir uma estratégia *Push* (associada a produção para *stock*), garantindo a satisfação da procura o mais rapidamente possível, tendo como elemento competitivo o custo. Uma cadeia de abastecimento ágil é capaz de responder rapidamente às mudanças de mercado, pelo que o seu elemento competitivo é o nível de serviço (Mason-Jones *et al.*, 2000), seguindo, normalmente, uma estratégia *Pull* (associada a produção por encomenda). Já a CA híbrida adota os dois tipos de CA com um *decoupling point* a separá-los nalgum momento da cadeia, onde se cria um inventário estratégico. Neste caso, a cadeia começa por ser *lean*, alterando-se para ágil no *decoupling point*, utilizando o conceito do *postponement* para as etapas seguintes.

Segundo Mason-Jones *et al.*, 2000, citados por Christopher e Towill (2001) e Christopher e Towill (2002), algumas das características que distinguem os dois principais tipos de CA são as seguintes:

Tabela 10 - Comparação de características entre CA lean e CA ágil (Adaptado de: Christopher & Towill (2001))

	<i>CA lean</i>	CA ágil
Tipo de produtos	<i>Commodities</i>	<i>Fashion goods</i>
Procura de mercado	Previsível	Volátil
Variedade	Baixa	Alta
Ciclo de vida	Longo	Curto

Através da análise efetuada nos pontos anteriores (Definição do portfólio do Produto e Processo produtivo), concluímos que as escórias micronizadas são um *commodity*, a sua procura será relativamente previsível, tem uma variedade muito baixa e um ciclo de vida bastante longo, pelo que se pode determinar que uma *CA lean* seria a mais apropriada. No entanto, ao tipo de CA está, também, associada uma estratégia *Push* ou *Pull*. Numa fase inicial, em que não se prevê um elevado número de encomendas, o mais lógico seria a utilização de uma estratégia MTO (*Make-to-Order*) (*Pull*), relacionada com um tipo de CA ágil, que é possibilitada pelo curto *lead time* na obtenção de matéria-prima e permite também a poupança de espaço em armazém. Para além disso, antes de serem tratadas, as escórias permanecem nas fossas da CVE pelo que não há impacto no projeto na armazenagem de matéria-prima. Como já foi referido, enquanto não houver procura suficiente de escórias micronizadas que permita escoar a totalidade das escórias produzidas pela CVE, serão executadas simultaneamente a deposição das mesmas em aterro e a micronização, pelo que não se corre o risco de ultrapassar a capacidade de armazenamento das fossas.

No futuro, caso se venda a totalidade de escórias produzidas pela CVE, talvez uma estratégia BTS (*Build-to-Stock*) (*Push*) faça mais sentido, correspondendo a uma *CA lean*, com a desvantagem da acumulação de produto final que terá de ser armazenado, podendo traduzir-se em custos elevados de armazenagem.

5.4 Definição dos processos logísticos - Armazenagem

Neste ponto expõem-se os requisitos de armazenagem das escórias micronizadas, assim como os tipos de embalagem apropriados para as mesmas, as formas de armazenamento, equipamentos a utilizar dentro do armazém, local e dimensão do

armazém, as estratégias de rotação de *stock* e as atividades para as quais será necessário mão-de-obra.

5.4.1 Requisitos

As escórias micronizadas são um produto em pó, pelo que não podem entrar em contacto com água nem estar expostas a vento. Deste modo, o seu acondicionamento e armazenamento num local seco e fechado são requisitos fundamentais no desenho do espaço de armazenagem. Para além disso, como numa fase inicial não se prevê vendas de uma grande quantidade deste produto, poderá ter de se optar por uma tipologia de armazenagem que não requeira um investimento avultado, mas que permita um transporte e armazenagem eficientes.

5.4.2 Tipos de embalagem e formas de armazenagem

Os tipos de embalagem aplicáveis às escórias micronizadas são os sacos de papel industriais, como os de cimento (Figura 10A), e os *big bags* (Figura 10B) pois permitem o embalamento de produtos em pó.



Figura 10 - Tipos de embalagem. A) Sacos de papel industriais; B) Big bags

As formas de armazenagem para os tipos de embalagem acima mencionados seriam em pilha ou estanteria para a opção dos sacos e em pilha para os *big bags*. Há ainda a opção de se armazenar as escórias micronizadas em silos e, nesse caso, o produto ficaria armazenado a granel.

5.4.3 Local e dimensão do armazém

Se se optar pelo armazenamento das escórias micronizadas em *big bags*, pensou-se na possibilidade de implementar na planta de tratamento das escórias uma zona de

armazenagem que poderá ser suficiente para esta fase inicial de vendas. Posteriormente, se este espaço deixar de ser suficiente, o novo método de armazenagem será a utilização de um ou mais silos.

No caso de se utilizarem *big bags* para armazenar as escórias micronizadas, será necessário o seu transporte para o local de armazenagem através de empilhadores. Deste modo, deverá considerar-se o espaço para a movimentação dos empilhadores dentro do local de armazenagem.

O espaço livre para armazenagem na planta de tratamento das escórias é de cerca de 215m². Por norma, num armazém organizado com *racks*, ou estanteria, o espaço para movimentação dos empilhadores corresponde a metade da dimensão do espaço de armazenamento, devido à criação de corredores. No caso deste projeto, uma vez que a forma de armazenamento dos *big bags* é em pilha e apenas há um SKU, não há necessidade de criação de corredores. Deste modo, o espaço para movimentação dos empilhadores será menor e assumiu-se que corresponderá a 1/4 do espaço livre total. Assim, o espaço livre para armazenagem passará a representar 3/4 dos 215m², ou seja, aproximadamente, 161m².

Assim que se começar a armazenar as escórias micronizadas num silo, este local de armazenagem ficará sem efeito, pelo que deixará de ser necessária a utilização de *big bags* e de empilhadores, assim como a mão-de-obra afeta à condução dos últimos, podendo, no entanto, exercer novas funções.

5.4.4 Estratégia de movimentação do *stock*

A movimentação das escórias micronizadas pode ser definida através de uma estratégia FIFO (*First In, First Out*) ou LIFO (*Last In, First Out*). No caso dos *big bags*, uma vez que estes são empilháveis e as características físicas das escórias micronizadas não se alteram com o tempo, o mais lógico será a utilização de uma estratégia LIFO. De facto, ao empilhar os *big bags*, aqueles que estão por baixo são os primeiros a ser colocados e os últimos a ser retirados e vice-versa para os que estão por cima.

Assim que se começar a utilizar silos, a estratégia irá alterar-se para FIFO uma vez que os silos são carregados por cima e o produto é retirado pelo fundo do silo. Deste modo, a quantidade de escórias micronizadas a entrar primeiro no silo, será a primeira a ser retirada.

5.4.5 Mão-de-obra

Num armazém são necessários recursos humanos que garantam a movimentação dos produtos dentro do mesmo. Neste projeto, serão necessários trabalhadores para:

- A condução dos equipamentos de manuseamento e transporte dos *big bags*, numa fase inicial em que o armazenamento das escórias micronizadas é realizado dessa forma;
- Garantir o registo das entradas e saídas de material e produto final;
- A preparação das encomendas e expedição ou apoio à entrega das mesmas ao cliente.

5.5 Definição dos processos logísticos - Transporte

Este ponto aborda os requisitos de transporte das escórias e das escórias micronizadas, os modos e veículos de transporte mais apropriados, assim como as estratégias possíveis para cada uma das movimentações.

5.5.1 Requisitos

Para este projeto, será essencial considerar a necessidade de transporte entre:

- A CVE e a planta de tratamento das escórias (*inbound*);
- A planta de tratamento das escórias e o local de armazenagem;
- O local de armazenagem e os clientes (*outbound*).

Relativamente aos **requisitos do material e do produto final**, o tipo de veículo a utilizar inicialmente tem de garantir que a carga está protegida da chuva e do vento, visto que irá circular ao ar livre entre a CVE e a planta de tratamento das escórias. De preferência, o veículo optado terá de permitir o abastecimento direto do alimentador do processo de tratamento das escórias, ou seja, que não exija a intervenção de mão-de-obra nem de outro equipamento na transferência das escórias do veículo para o alimentador. Para o transporte das escórias micronizadas, os requisitos relativos aos elementos naturais são os mesmos, ou seja, não podem estar expostas à chuva nem ao vento.

5.5.2 Modos e veículos de transporte

Neste subcapítulo irão referir-se os modos e veículos de transporte mais apropriados para o transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento das mesmas (*inbound*), o transporte das escórias micronizadas entre a planta de tratamento e o local de armazenamento e, finalmente, o transporte entre o local de armazenamento e os clientes (*outbound*).

Transporte de escórias entre a CVE e a planta de tratamento das mesmas (*inbound*)

Sabe-se que o transporte entre a fossa das escórias e a planta de tratamento das mesmas terá de ser feito com recurso a um tipo de veículo rodoviário, uma vez que, após discussão com a Lipor, se chegou à conclusão de que, numa fase inicial, não se justifica o investimento num processo mais automatizado. Deste modo, apenas é necessário um veículo com báscula. Esta eleva-se e despeja o conteúdo no alimentador do processo de tratamento. A Lipor mencionou que prefere um veículo com capacidade para transportar 30 toneladas de escórias de uma vez, pelo que o único veículo com as características necessárias e a capacidade mencionada é um trator com semi-reboque de alumínio basculante.

Transporte das escórias micronizadas entre a planta de tratamento das escórias e o local de armazenamento

No caso de o local de armazenagem das escórias micronizadas se encontrar na planta de tratamento das escórias, isso significa que serão armazenadas em *big bags*, pelo que o transporte será assegurado por empilhadores.

Por outro lado, se a armazenagem de escórias micronizadas for efetuada em silos, o transporte das mesmas entre o fim da linha de tratamento e o silo será garantido por uma tela transportadora ou outro tipo de equipamento fixo que permita o transporte e a carga do silo automaticamente.

Transporte das escórias micronizadas entre o local de armazenamento e os clientes (*outbound*)

As escórias micronizadas terão de ser entregues aos clientes num camião-cisterna apropriado a este tipo de produto, como será explicado mais à frente no subcapítulo 5.7.1.

5.5.3 Estratégia

O transporte pode ficar a cargo da própria empresa, com frota privada, a cargo de terceiros, através de *outsourcing*, ou a cargo do próprio cliente que se desloca às instalações do fornecedor.

Neste projeto, o **transporte entre a CVE e a planta de tratamento das escórias** pode ficar a cargo da Lipor ou de terceiros, através de uma prestação de serviço. No caso de o serviço ser realizado pela Lipor, terá de se adquirir um trator com semi-reboque de alumínio basculante, contratar um ou mais trabalhadores, consoante o número de horas de operação por dia, e manter as despesas com combustível e manutenções.

O **transporte entre o local de armazenamento e os clientes** pode ser efetuado pela Lipor, com frota própria, através de *outsourcing* ou pelo cliente. No caso de ficar a cargo do cliente, a Lipor não terá quaisquer custos associados ao transporte. Na primeira hipótese, a Lipor terá custos com a compra de um ou mais camiões-cisterna, com o combustível, despesas de manutenção dos veículos, mão-de-obra, entre outros. Na segunda hipótese, a Lipor terá de suportar um custo de contratação do serviço de transporte.

5.6 Sistemas de Informação

Para este projeto, uma vez que a sua logística é bastante simples, não há necessidade de grandes investimentos em sistemas de informação muito sofisticados. De facto, para este projeto, os sistemas de informação apenas precisam de garantir a informação necessária para gerir e manter o sistema. Deste modo, estes têm de ser capazes de registar e processar encomendas e calcular a capacidade do sistema de forma a ser possível manter os níveis de eficiência exigidos, tratando-se apenas de um suporte para o negócio.

5.7 Análise de Cenários

Tal como indicado pela metodologia, o último passo diz respeito à análise de cenários dos parâmetros elegíveis para tal, nomeadamente os aspetos de armazenamento e transporte.

5.7.1 Unidade de manuseamento das escórias micronizadas

De forma a explorar as melhores alternativas de manuseamento para o caso LIPOR, foram contactadas algumas empresas no mercado, com experiência no negócio do cimento.

Através do contacto via *e-mail* com a empresa de cimento portuguesa CIMPOR, percebeu-se que esta armazena o cimento em sacos de papel e em silos. De facto, segundo a CIMPOR, *“em ambiente industrial o armazenamento do cimento é mantido em silo e em ambiente de obra em sacos de papel de 25 kg, sobre uma palete de madeira”*. Já a Secil, outra empresa portuguesa produtora de cimento, para além de utilizar sacos de 25kg, 35kg, 40kg e 50kg, também faz expedição do cimento em *big bags* de 1 500kg (Declaração Ambiental Secil-Outão, 2017; Secil).

Contudo, através de um inquérito efetuado às empresas de pré-fabricados de betão (Apêndice 2) e de informação disponibilizada pela Associação Nacional dos Industriais de Prefabricação em Betão (ANIPB), percebeu-se que os materiais ligantes (entre eles o cimento) são normalmente armazenados em silos verticais cujo enchimento não é possível através de *big bags*. A colocação de cimento nos silos *“é efetuada por camiões-cisterna mediante utilização de uma bomba de pressão. No entanto, se um material ligante chegar já no camião-cisterna, é possível efetuar a sua trasfega para o respetivo silo, pelo que o problema se coloca na carga do camião-cisterna e não na trasfega para o silo”*. Deste modo, para ser possível o armazenamento das escórias micronizadas em *big bags*, terá de existir alguma forma de as transferir dos *big bags* para os camiões-cisterna. A ANIPB sugeriu a solução de se *“criar uma infraestrutura que permitisse a elevação dos big bags de forma a que os mesmos (materiais ligantes) fossem despejados por gravidade para o camião-cisterna”*.

Assim, conclui-se que a opção dos sacos de papel industriais está fora de questão e que, se se optar pela utilização de *big bags*, terá de existir uma solução para a transferência das escórias micronizadas dos *big bags* para o camião-cisterna.

Os diferentes tipos de *big bags* e respetivas dimensões e preços unitários estão expostos no Apêndice 4.

Após consulta com a Lipor e com fornecedores de *big bags*, chegou-se à conclusão de que o melhor tipo de *big bag* para produtos em pó é o que tem saia de enchimento,

uma vez que atua como funil no enchimento do *big bag* e permite fechar o mesmo após esta atividade. Esta funcionalidade contribui para a redução ao máximo de perdas de produto.

Nas Tabela 22 e Tabela 23 do Apêndice 5 estão apresentados os cálculos efetuados para o estudo da estimativa do impacto económico dos *big bags* neste projeto, utilizando os custos unitários mínimos para uma quantidade encomendada superior a 250 unidades expostos na Tabela 21 do Apêndice 4.

Com o objetivo de perceber o número máximo de *big bags* com saia de enchimento a adquirir tendo em conta o espaço limitado em armazém, foi necessário calcular o espaço ocupado por cada tipo de *big bag* para níveis diferentes de procura, através das dimensões e capacidade de cada saco. De facto, uma vez que o volume do saco poderia ser ultrapassado antes de se atingir o peso limite, calculou-se a quantidade de escórias micronizadas armazenadas para cada tipo de *big bag*. Deste modo, ao multiplicar a densidade destas ($1,874 \text{ t/m}^3$) pelo volume do *big bag*, obtemos o peso equivalente. Uma vez que o valor obtido é superior ao peso limite dos *big bags*, armazenar-se-ão as toneladas de escórias micronizadas correspondentes à capacidade máxima do *big bag*, apenas significando que os sacos não ficarão cheios.

Na Tabela 23 calculou-se o espaço de armazenagem ocupado por cada tipo de *big bag* com saia de enchimento consoante a quantidade procurada de escórias micronizadas. Optou-se por utilizar a procura semanal como referência porque se concluiu, através da análise do inquérito, que a maior parte das empresas de pré-fabricados de betão realiza as suas encomendas semanalmente. Assim, apenas será necessário calcular o espaço ocupado pelos *big bags* no local de armazenagem para uma semana. Os tipos 1 e 2 de *big bags* têm valores idênticos no parâmetro de número de *big bags* cheios por hora, assim como a mesma área da base na Tabela 22, pelo que foram compilados numa mesma coluna da Tabela 23, uma vez que os seus resultados eram iguais nesta tabela.

Sabe-se que se pode empilhar três *big bags*, daí a coluna “3 empilhados (m^2)” que nos indica o espaço ocupado pelos *big bags* quando estão empilhados em três linhas. Sabe-se também que o espaço livre máximo para armazenagem é de cerca de 161 m^2 , como já foi referido no ponto 5.4.3, pelo que, nos *big bags* do tipo 1 e 2, assim que se atingir uma quantidade procurada semanal de 593 toneladas de escórias micronizadas, o local

de armazenagem atual não será suficiente para um possível crescimento da procura. O mesmo acontece com o *big bag* do tipo 3 quando se atingir uma quantidade procurada semanal de 894 toneladas, tendo que se alterar a forma de armazenamento para um ou mais silos.

Assim, observando as colunas “Nº *big bags* cheios por semana” percebe-se que o número máximo de *big bags* necessários para os tipos 1 e 2 é 593 *big bags* e para o tipo 3 é 596 *big bags*.

Assumindo uma taxa de perda de *big bags* de 5%, o número máximo de *big bags* necessários, para os tipos 1 e 2 de *big bags* será cerca de 623 *big bags* e para o tipo 3 de 626 *big bags*. Isto resulta nos valores apresentados na Tabela 22 e na seguinte tabela resumida:

Tabela 11 - Custo Total para cada tipo de Big bag com saia de enchimento

Tipo de <i>Big bag</i>	Dimensões (cm)	Capacidade (kg)	Preço Unitário Mínimo	Custo Total
1	90x90x100	1 000	4,03€	2 510,42€
2	90x90x120	1 000	4,77€	2 971,39€
3	90x90x135	1 500	6,12€	3 830,88€

A movimentação dos *big bags* para o local de armazenagem ficará a cargo dos empilhadores. Estes poderão ser adquiridos pela Lipor ou alugados e podem ser equipamentos novos ou usados.

Após consulta com vários fornecedores de empilhadores, obtiveram-se os seguintes orçamentos para empilhadores elétricos novos com as características necessárias para este projeto:

Tabela 12 - Preços de empilhadores elétricos novos de três fornecedores diferentes

Fornecedor	Preço s/ IVA
1	44 045,77€
2	26 734,55€
3	26 200 €

Também foram efetuados pedidos de cotação para equipamentos usados, cujos valores estão apresentados na seguinte tabela:

Tabela 13 - Orçamentos de quatro fornecedores diferentes para empilhadores usados

Fornecedor	Preço s/ IVA
1	18 500 €
2	16 900€
3	9 500€
4	7 250€

No caso do aluguer, foram disponibilizados dois orçamentos de duas empresas diferentes: 700€ por mês e 650€ por mês, sendo que este último se pode alterar consoante o período de aluguer.

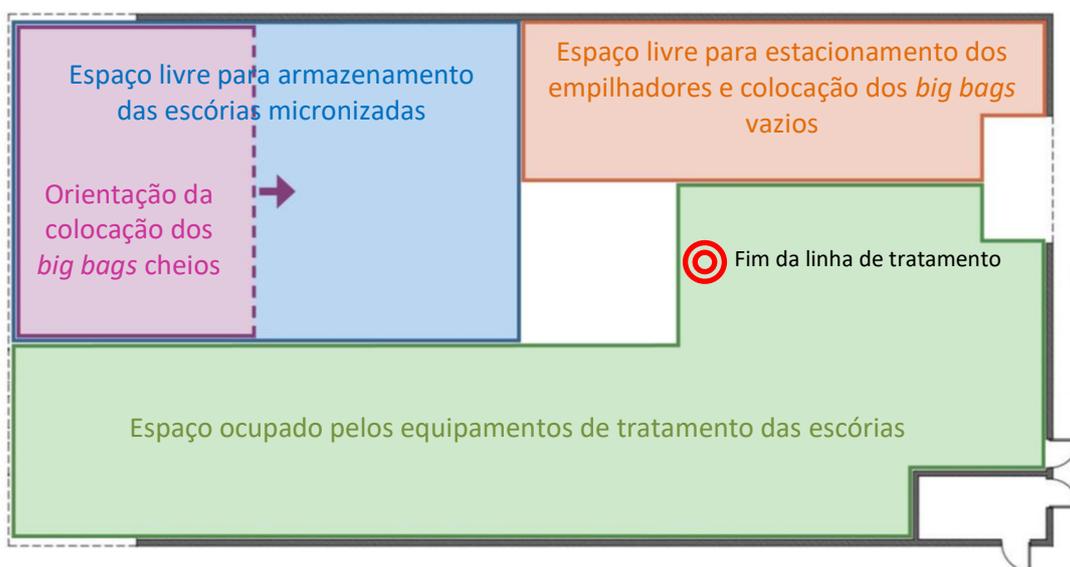


Figura 11 - Exemplo de *layout* de armazenamento na planta de inertização das cinzas

5.7.2 Armazenamento das escórias micronizadas em silos

Por outro lado, se se armazenar as escórias micronizadas num silo, deverá ter-se em conta o custo do próprio silo, da estrutura que o suporta e que permite a passagem dos camiões por baixo da mesma, e da ligação entre o fim da linha de tratamento e o silo. Após o contacto com vários fabricantes de silos, obteve-se um orçamento para um silo

que permite o armazenamento de, cerca de, 1 400 toneladas de produto. As suas dimensões e custo são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Dimensões e custo do silo orçamentado

Capacidade	750 000 litros
Diâmetro	11,3 metros
Altura do Corpo	7,5 metros
Altura Total Aprox.	8,5 metros
Custo	162 500€

Foi referido que “*este depósito, dado as dimensões, terá de ser construído no local onde o cliente deverá ter executado uma base de assentamento devidamente nivelada, de forma a poder apoiar e fixar o depósito*”. Este orçamento foi realizado com base em poucos dados técnicos do projeto, pelo que, aquando da realização efetiva do mesmo, o orçamento poderá alterar-se.

Contudo, não foi possível obter um orçamento para as restantes necessidades.

5.7.3 Mão-de-obra

Para efeitos do projeto assumiu-se que os trabalhadores irão auferir o salário mínimo nacional de Portugal de 2020. Deste modo, e sabendo que esse salário não corresponde ao verdadeiro custo por trabalhador para o empregador, segundo informações constantes nas páginas *online* da Segurança Social, Diário da República e PORDATA, esse custo inclui:

- Salário bruto de 635€ por mês (740,83€ brutos a 14 meses);
- Contribuições para a Segurança Social de 23,75%;
- Seguro de Acidentes de Trabalho de 1%;
- Subsídio de refeição de 4,50€ por dia completo de trabalho.

Assim, o custo anual por trabalhador para a Lipor por 35 horas semanais é de, aproximadamente, 12 130€. De notar que estes custos são apenas para efeitos do estudo e podem não corresponder ao valor real exato.

Para a realização deste projeto, será necessária mão-de-obra que assegure:

- a eventual condução do trator basculante de transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento das mesmas;
- a condução do(s) empilhador(es) (se forem utilizados *big bags*);
- o controlo do processo produtivo, garantindo a eficiência do mesmo e o bom funcionamento dos equipamentos;
- o trabalho de escritório, registando as entradas e saídas de material e produto final;
- a preparação e expedição das encomendas ou apoio na entrega das escórias micronizadas aos clientes.

Isto não implica que o mesmo trabalhador não possa fazer duas ou mais destas atividades, uma vez que muitas delas apenas são necessárias pontualmente, como é o caso do transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento. Contudo, como é possível observar na Tabela 23 do Apêndice 5, a coluna do “nº de horas de trabalho” corresponde ao tempo semanal necessário para produzir a respetiva quantidade de escórias micronizadas. Deste modo, é possível saber o número de trabalhadores necessários para assegurar a realização de todas as atividades acima mencionadas para cada nível de quantidade procurada, dividindo o número de horas de trabalho semanais por 35 horas. Para níveis baixos de procura, um trabalhador será suficiente, até cerca de 16000 toneladas de procura semanais. À medida que o nível de procura aumenta, deverá aumentar, também, o número de trabalhadores até, pelo menos, 5 trabalhadores para níveis mais elevados de procura.

5.7.4 Transporte entre a CVE e a planta de tratamento das escórias

Como foi referido no subcapítulo 5.5.2, o veículo a utilizar no transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento terá de ser um trator com semi-reboque de alumínio basculante. Este serviço poderá ser efetuado pela Lipor ou por terceiros.

Posto isto, no caso de se optar por adquirir frota própria, os custos incluirão:

- Compra de um ou mais tratores basculante e respetivo semi-reboque;
- Mão-de-obra (condutores dos veículos);
- Combustível e manutenções.

Deste modo, conseguiu-se obter dois orçamentos para um trator basculante: 87 500€ e 83 200€. Para o semi-reboque, apenas se conseguiu um de 34 500€. E finalmente, uma vez que será necessário um toldo de cobertura para proteger o material da chuva e do vento, terá de se adicionar um custo de 1800€.

O custo com a mão-de-obra será o mesmo assumido anteriormente, ou seja, 12 130€ ao ano. Os custos com combustíveis e manutenções não foram orçamentados, mas é um fator em consideração caso o projeto avance. Contudo, se o serviço for efetuado por terceiros, este ficará por 350€ por dia.

Após discussão com a Lipor, decidiu-se efetuar uma análise de cenários na qual se irão comparar as hipóteses de contratar este serviço de transporte a terceiros (Opção A) ou investir numa frota própria (Opção B), recorrendo ao Valor Presente (VP) de cada uma das hipóteses, com o objetivo de estudar qual a melhor opção. Este estudo teve por base quatro cenários de procura por escórias micronizadas e o indicador optado para a comparação final foi o valor presente do custo total. De notar que os cenários de procura apresentados não pretendem representar possíveis cenários realistas, uma vez que não foi possível efetuar esse tipo de análise. Apenas têm como função ajudar a perceber de que modo a quantidade procurada poderá influenciar os resultados obtidos.

Os cálculos efetuados estão presentes no Apêndice 7, para os quais se assumiu que:

- O tempo de vida do projeto é de 10 anos;
- Um ano tem 52 semanas;
- O investimento no veículo corresponde ao custo do chassis (87 500€ - Fornecedor 1), do semi-reboque (34 500€) e do toldo de cobertura (1800€), num total de 123 800€;
- Na Opção A, um dia de trabalho corresponde a 24 horas;
- Na Opção B, um operador da Lipor trabalha 35 horas por semana;
- A Opção B não inclui custos de manutenção do veículo nem de gastos com combustível, algo que normalmente é tido em conta neste tipo de análise;
- O custo anual por trabalhador não aumenta de ano para ano, permanecendo nos 12 130€ e o custo por hora de trabalho equivale a $12\ 130\text{€}/(35*52) \approx 6,66\text{€}$;

- A taxa de desconto utilizada é igual à rentabilidade dos capitais próprios média do setor de “Recolha, tratamento e eliminação de resíduos; valorização de materiais” de 2019 de 7,7% (Banco de Portugal);
- No caso de se efetuar um financiamento bancário, a taxa de desconto será inferior, pelo que também se realizou o cálculo do Valor Presente com uma taxa de 5%, a título de exemplo;
- Os cenários 1, 2, 3 e 4 representam diferentes taxas de crescimento da quantidade procurada de escórias micronizadas durante os 10 anos de vida do projeto (Apêndice 6): 5%, 10%, 20% e 30%, respetivamente.

Para calcular o custo anual com operador(es) na Opção B, efetuou-se a seguinte multiplicação: número de horas de trabalho por semana*custo por hora de trabalho*52 semanas.

Dos cálculos realizados obtiveram-se os seguintes resultados aproximados:

Tabela 15 - Quadro síntese dos VP das duas opções com taxa de desconto de 7,7%, consoante o cenário da procura

Taxa de desconto: 7,7%	Opção A	Opção B
Cenário 1	132 461 €	170 293 €
Cenário 2	174 341 €	181 073 €
Cenário 3	247 982 €	212 505 €
Cenário 4	359 160 €	261 915 €

Tabela 16 - Quadro síntese dos VP das duas opções taxa de desconto de 5%, consoante o cenário da procura

Taxa de desconto: 5%	Opção A	Opção B
Cenário 1	151 709 €	177 119 €
Cenário 2	202 275 €	190 123 €
Cenário 3	290 839 €	228 349 €
Cenário 4	426 429 €	288 855€

Como é possível observar, tendo em conta os pressupostos assumidos e o facto de não se considerarem todos os custos normalmente envolvidos na Opção B, a opção de contratar o serviço compensa sempre quando a procura é baixa ao longo dos 10 anos do projeto (Cenário 1). Já para quantidades procuradas superiores (Cenários 2, 3 e 4), adquirir o veículo (Opção B) compensa sempre quando a taxa de desconto é baixa (5%)

(Tabela 16). À taxa de 7,7% (Tabela 15), contratar o serviço parece ser a melhor opção quando a procura é baixa (Cenários 1 e 2). No entanto, a compra do veículo prevalece nos outros cenários.

Contudo, se se compararem as duas opções para o cenário 2 a uma taxa de desconto de 5%, podemos verificar que a margem entre as duas é de apenas cerca de 12 000€, o que indica que o VP dos custos operacionais (combustível e manutenções, entre outros) durante o tempo de vida do projeto terá de ser inferior a esse montante para que compense a seleção da Opção B, tendo em conta os outros pressupostos assumidos. O mesmo sucede para os cenários 3 e 4 no valor das margens entre as duas opções para as duas taxas de desconto. Deste modo, será importante analisar os custos operacionais de forma a tomar a melhor decisão.

Não obstante, da análise efetuada pode concluir-se que, em princípio a melhor opção será a compra do veículo (Opção B), a menos que os custos operacionais ultrapassem a margem entre as duas opções, ou que a procura seja baixa.

De ressaltar que a validade dos resultados está dependente das estimativas da procura, pelo que as conclusões estão limitadas a este tipo de exercício. Deste modo, se o intuito deste estudo for obter valores mais próximos da realidade, sugere-se a análise com base em previsões fundamentadas e realistas da procura.

5.7.5 Transporte das escórias micronizadas para os clientes

Através da mesma troca de *e-mails* com a CIMPOR referida no ponto 5.7.1, percebeu-se que os mesmos realizam duas modalidades de transporte “*definidas pelo cliente*”: “*Tradicionalmente no segmento de saco o transporte é maioritariamente realizado pelos clientes e no segmento de granel, pela CIMPOR. No último caso temos uma empresa do Grupo (...) que faz a gestão interna do transporte, recorrendo a múltiplos fornecedores externos.*”

Uma vez que neste projeto o transporte será feito a granel, verificou-se que normalmente é a CIMPOR a responsável pelo transporte do cimento para os clientes. Esta política terá de ser acordada entre a Lipor e os seus clientes, mas julga-se que, pelo

menos alguns, quererão que seja a Lipor a efetuar o serviço, pelo que o *outsourcing* será a melhor opção nesses casos.

Deste modo, pediu-se um orçamento a uma empresa que realiza esse serviço e obteve-se a seguinte informação:

Tabela 17 - Custo de outsourcing de serviço de transporte para clientes

Custo base para serviços ≤ 80 Km de distância = 120€ + 1€ por Km ida e volta.

Custo base para serviços > 80 Km de distância = 100€ + 1€ por Km ida e volta.

Foi referido que “há destinos que eventualmente poderão ficar mais económicos”, mas só analisando caso a caso.

5.8 Síntese

O sistema logístico proposto para o projeto de valorização das escórias resultantes da incineração de resíduos envolve:

1. Produção de escórias na CVE
2. Transporte de escórias (transporte próprio ou subcontratado)
3. Planta de tratamento das escórias
4. Transporte das escórias micronizadas
5. Armazenamento das escórias micronizadas (em *big bags* ou silos)
6. Transporte das escórias micronizadas (subcontratado ou efetuado pelo cliente)
7. Clientes

As necessidades logísticas deste projeto iniciam-se no transporte das escórias da CVE para a planta de tratamento das mesmas, a antiga planta de inertização das cinzas, presentes na LIPOR II. Na análise estratégica concluiu-se que a melhor opção seria a compra do trator com semi-reboque basculante e tolde de cobertura por um total de 123 800€, para um tempo de vida do projeto de 10 anos e tendo em conta que não se consideraram os custos com manutenções e gastos de combustível. Para além disso, será necessário adicionar o custo com os operadores do trator, cujo custo anual para a Lipor se assumiu como sendo o mínimo atual de 12 130€, onde se incluem contribuições para a Segurança Social, seguro para acidentes de trabalho e subsídio de refeição. É

necessário ter em atenção que, normalmente, o salário mínimo nacional aumenta todos os anos. No entanto, se a taxa de desconto utilizada pela Lipor for baixa, assim como a procura pelas escórias micronizadas, ou se os custos operacionais se mostrarem mais elevados que a margem entre as duas opções, a contratação do serviço poderá ser a melhor escolha.

De seguida, iniciar-se-á o processo de tratamento das escórias. Aqui sugere-se uma estratégia de produção MTO, ou produção puxada (*Pull*), quando a procura for baixa. Assim que a procura por escórias micronizadas o justifique, ou seja, que as encomendas permitam uma produção contínua, deverá alterar-se a estratégia para BTS, ou produção empurrada (*Push*).

Logo que estejam tratadas, as escórias micronizadas serão armazenadas. Neste ponto há duas hipóteses: o armazenamento em *big bags* ou o armazenamento em silos. No caso de se optar pela primeira hipótese, os custos incorridos são:

- a compra dos *big bags*, cujo investimento máximo deverá rondar entre os 2500€ e os 3800€, dependendo das dimensões dos mesmos, com saia de enchimento, segundo o orçamento obtido mais baixo do custo unitário numa encomenda superior a 250 unidades. Este valor tem em conta o espaço máximo livre na planta de tratamento das escórias (que se assumiu como sendo 3/4 do espaço livre total), pois não será necessário adquirir mais *big bags* do que aqueles que cabem neste espaço, assumindo uma procura semanal e empilhamento dos *big bags* em três linhas, para além de uma taxa de perda de 5% dos *big bags*;
- a instalação de uma estrutura que permita o despejo do conteúdo dos *big bags* para o interior de camiões-cisterna, que não foi orçamentado;
- o investimento ou aluguer de um ou dois empilhadores elétricos que permitam a movimentação dos *big bags*. No caso da compra, poderão ser empilhadores novos cujo custo unitário ronda entre os 26 200€ e os 44 050€ ou equipamentos usados cujo custo ronda entre os 7 250€ e os 18 500€, segundo os orçamentos obtidos. O aluguer poderá ser de 700€ ou 650€ mensais, sendo que há a hipótese de este último ser inferior, dependendo do tempo de aluguer;

- o salário anual dos operadores dos empilhadores, que se assumiu também como sendo o mínimo nacional bruto de 12 130€.

A hipótese de se armazenar as escórias micronizadas num silo obriga ao investimento:

- no silo, cujo custo para uma capacidade de 1400 toneladas (a produção máxima semanal), é de 162 500€, segundo o único orçamento que se conseguiu obter e que não contempla todas as especificações técnicas que poderão alterar este valor;
- na estrutura que suporta o silo e lhe permite ter altura suficiente para a passagem de camiões-cisterna por baixo do mesmo, cujo orçamento não foi possível obter;
- na ligação entre o fim da linha de tratamento das escórias e o silo, que permite a carga direta e automática do silo;
- na base de assentamento devidamente nivelada onde se irá colocar o silo, assumindo que este será montado no exterior da planta de tratamento das escórias.

Na última etapa, o produto deverá ser entregue aos clientes. Para isso, chegou-se à conclusão de que esta tarefa poderá ser feita pelos clientes, deslocando-se às instalações da Lipor, ou ficar a cargo da Lipor através da contratação de um serviço de transporte. O custo por cada viagem depende do local de entrega do produto que, estando a menos de/ou a 80km de distância será de 120€ acrescido de 1€ por cada quilómetro de ida e volta; e estando a mais de 80km de distância o custo base é de 100€ acrescido de 1€ por cada quilómetro de ida e volta, segundo o orçamento obtido de uma empresa de distribuição que efetua o serviço de transporte a granel de produtos em pó. Finalmente, os sistemas de informação deverão ser capazes de gerir toda a informação gerada ao longo de toda a cadeia de abastecimento, não sendo necessário o investimento em recursos muito especializados.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Este capítulo final divide-se em três partes: introdução, onde se faz uma síntese de todo o trabalho realizado nesta dissertação; contribuições, que destaca as contribuições do trabalho e as respostas às questões de investigação; e trabalho futuro, que inclui aspetos do projeto que poderão ser mais explorados no futuro.

6.1 Introdução

O projeto de valorização de escórias de incineração de RUI da Lipor, que prevê a sua transformação num produto substituto total do cimento, as escórias micronizadas, é um projeto inovador e com grande foco na temática da Economia Circular.

O desafio colocado foi a criação de um sistema logístico para o projeto que permitisse a realização eficiente e eficaz dos procedimentos logísticos necessários, aliados aos requisitos do mercado. Por ser um projeto único e sem semelhantes, a realização desta dissertação tornou-se mais complicada do que o esperado, no sentido em que não foi possível efetuar um “estudo da concorrência”, por exemplo, *benchmarking*, através do qual se consegue transpor ideias e métodos para o projeto que está a ser desenvolvido, para além da pandemia de Covid-19 que dificultou a comunicação entre as partes envolvidas.

Contudo, através da metodologia de investigação selecionada e do facto de o produto final ser um substituto do cimento, foi possível realizar a investigação através da pesquisa e contacto com produtores de cimento, de forma a perceber quais os seus métodos logísticos passíveis à transposição para este projeto. Para além disso, uma vez que a Lipor definiu que o seu mercado de interesse seria as empresas de pré-fabricados de betão, isto abriu uma oportunidade de focar a atenção nos métodos logísticos utilizados por estas empresas no que toca ao armazenamento e recebimento do cimento (matéria-prima principal), pelo que se realizou um inquérito às mesmas com o objetivo de basear o estudo nas preferências e metodologias destes possíveis clientes, do qual se concluiu que as encomendas são realizadas, maioritariamente, de forma semanal e que o armazenamento do cimento é efetuado em silos.

Um outro contribuidor para o esclarecimento de dúvidas foi a ANIPB que, através da resposta célere e clara a questões de interesse para o projeto, permitiu perceber que o

único veículo de transporte passível para este tipo de produto e de cliente era o camião-cisterna e que se a Lipor quisesse utilizar *big bags*, teria de arranjar uma solução para a trasfega do seu conteúdo para o camião, sugerindo a criação de uma infraestrutura para o efeito.

Por se tratar de um resíduo de incineração, as escórias têm um valor quase nulo. Posto isto, a revisão de literatura sobre a logística de produtos de baixo valor ajudou a compreender melhor a importância da seleção dos veículos e métodos de transporte mais adequados para a manutenção do baixo custo do produto, que se apresenta como um desafio associado ao desenvolvimento do sistema logístico de valorização de escórias.

Efetuada a revisão de literatura, iniciou-se efetivamente o processo de desenvolvimento do sistema logístico e do desenho da cadeia de abastecimento, com o apoio de uma *framework* que possibilitou a estruturação do trabalho e raciocínio. Depois de esclarecidos todos os parâmetros que devem ser tidos em conta na formação de um sistema logístico para uma qualquer cadeia de abastecimento, aplicaram-se esses mesmos parâmetros ao projeto em estudo. Deste modo, através da investigação já mencionada no segundo parágrafo e de requisitos impostos pelo produto, capacidade produtiva e pela Lipor, foi possível restringir as opções de cada parâmetro aplicável ao projeto para apenas uma ou duas hipóteses. Por exemplo, chegou-se à conclusão de que o armazenamento das escórias micronizadas apenas poderá ser efetuado utilizando *big bags* ou armazenando em silos, descartando a hipótese dos sacos de papel ou da possibilidade de se recorrer a estanteria como forma de armazenamento. O mesmo sucedeu na busca por uma empresa de serviço de transporte que efetuasse o transporte de produtos a granel secos com camiões-cisterna. Por um lado, permitiu focar a atenção apenas nessas empresas, mas, por outro, dificultou a tarefa de arranjar um pedido de cotação para esse serviço tão específico.

Posto isto, foi possível orçamentar quase todos os aspetos necessários do sistema logístico desta cadeia de abastecimento, nomeadamente:

- o transporte das escórias entre a CVE e a planta de tratamento das mesmas, para o qual se contrapuseram as hipóteses de contratar este serviço ou adquirir um

trator com semi-reboque basculante (veículo mais adequado) e se concluiu que comprar o trator poderá ser mais vantajoso;

- os *big bags* com saia de enchimento e o custo de um empilhador com as características necessárias para este projeto, caso a Lipor opte por esta solução;
- o silo, caso a Lipor opte por esta solução em vez dos *big bags*;
- o serviço de transporte do produto final para o cliente através de *outsourcing*, utilizando camiões-cisterna passíveis de transportar este tipo de produto.

Os custos relativos a estruturas e infraestruturas personalizadas para o projeto não foram possíveis de orçamentar.

Foram ainda sugeridas as estratégias de produção MTO para fases de procura baixa e BTS quando a procura for elevada o suficiente que justifique esta estratégia. Finalmente, os sistemas de informação deverão ser capazes de gerir toda a cadeia de abastecimento e garantir a manutenção da eficácia e eficiência de todos os procedimentos envolvidos neste sistema logístico da cadeia de abastecimento do projeto de valorização de escórias de incineração de RUI.

6.2 Contribuições

Esta dissertação permitiu perceber os desafios envolvidos na criação de um sistema logístico e de uma cadeia de abastecimento de um projeto único, respondendo dessa forma à primeira questão de investigação desta dissertação. De facto, como foi referido no ponto anterior, a sua unicidade dificultou a busca por soluções logísticas aplicáveis ao projeto, assim como o facto de não existirem registos de procura por este tipo de produto ao longo dos anos. Este último ponto apresentou-se como um grande desafio nas análises efetuadas por não se ter uma base de procura estimável a partir da qual se conseguiria construir mais facilmente o sistema logístico, sem a necessidade de se criarem cenários hipotéticos. Aliado a isto, o baixo valor do produto obrigou a que se desenvolvessem soluções logísticas que permitissem a manutenção, ao máximo, desse mesmo valor. Finalmente, uma vez que as escórias micronizadas são um produto substituto do cimento, a sua logística terá de ser compatível com a dos seus clientes, que neste momento são consumidores de cimento. Assim, o outro desafio encontrado foi a garantia da compatibilidade da logística do projeto com a dos seus clientes. A

revisão de literatura também contribuiu para a resposta à primeira questão de investigação, nomeadamente na compreensão do desafio da importância das soluções logísticas de baixo custo, das características do produto para o desenho da solução logística e do conhecimento da procura do mercado.

No que toca à segunda questão de investigação “Quais os pontos críticos na definição de um sistema logístico eficiente?”, a revisão da literatura foi um contributo essencial na sua resposta, através da compreensão de muitos dos aspetos intervenientes num sistema logístico, complementados pela metodologia desenhada posteriormente e os parâmetros definidos na mesma.

Por último, a terceira questão “Quais os melhores procedimentos e infraestruturas logísticas que garantem uma gestão eficiente e eficaz dos fluxos dos materiais e informação associada a este projeto?” foi respondida no capítulo da Proposta de Sistema Logístico para o Projeto de Valorização das Escórias, que resultou no maior contributo para o trabalho, pois foi onde se estudou e apresentou e a(s) melhor(es) solução para todos os parâmetros logísticos deste projeto, nomeadamente:

Tabela 18 - Síntese de cenários de armazenagem e respetivos custos

		Cenário(s) e/ou custo total	
Armazenagem	Armazém	Unitização e embalagem: <i>big bags</i>	Tipo 1: 2 510,42€ Tipo 2: 2 971,39€ Tipo 3: 3 830,88€ + infraestrutura de despejo do conteúdo para o camião-cisterna
		Movimentação: empilhadores	Novo: entre 26 200€ e 44 045,77€ Usado: entre 7 250€ e 18 500€ Aluguer: 650€/mês ou 700€/mês
		Estratégia de movimentação de <i>stock</i>	LIFO
	Silo	Capacidade para 1400t	162 500€ + estrutura de suporte + ligação entre linha e silo + base de assentamento
		Estratégia de movimentação de <i>stock</i>	FIFO

Tabela 19 - Síntese de cenários para as diferentes necessidades de transporte e respetivos custos

		Cenários	Custo total
Transporte	Entre a CVE e a planta de tratamento	Compra de veículo próprio	123 800€ + mão-de-obra + combustível + manutenções
		Serviço efetuado por terceiros	350€ por dia
	Para os clientes	<i>Outsourcing</i>	<= 80Km de distância = 120€ + 1€ por Km ida e volta. > 80Km de distância = 100€ + 1€ por Km ida e volta.
		Efetuada pelo cliente	----

6.3 Trabalho Futuro

A presente dissertação apresenta os custos das alternativas que foram possíveis de orçamentar para o projeto de valorização das escórias de incineração da Lipor. Posto isto, no futuro poderão ser explorados e analisados outros custos envolvidos no projeto, por exemplo da estrutura para o despejo dos *big bags* de forma a obter o valor do investimento total desta hipótese, assim como da infraestrutura de suporte do silo ou os custos operacionais do transporte das escórias. Para além disso, seria interessante a busca por orçamentos de outras empresas com o propósito de obter o mais económico. Poderão estudar-se, também, outras alternativas para os parâmetros do sistema logístico que se mostrem interessantes e aplicáveis ao projeto.

Na eventualidade de se criarem variantes das escórias micronizadas, será necessário ter em conta todas as alterações que estas novas SKU's implicariam no sistema logístico proposto, nomeadamente em termos de separação em armazém ou silo, etiquetagem, codificação dos produtos, entre outros aspetos.

Finalmente e posteriormente, seria interessante e útil a realização de um projeto-piloto para o sistema logístico desenhado como complemento de apoio à decisão final de implementação do mesmo.

APÊNDICE 1 - ANÁLISE DE MERCADO DAS ESCÓRIAS MICRONIZADAS

No contexto deste projeto, considerou-se importante efetuar uma Análise de Mercado das escórias micronizadas. Para isso, uma vez que se trata de um produto novo no mercado, analisaram-se as “*tendências*” do mercado mundial para produtos ecológicos e o potencial de crescimento da procura do produto novo baseado nas tendências anteriormente analisadas e na evolução das vendas de cimento (produto análogo das escórias micronizadas) ao longo dos anos.

Uma vez que as escórias micronizadas são um produto mais ecológico do que o cimento, será analisado o crescimento do interesse da população e das organizações em produtos mais amigos do ambiente.

Em primeiro lugar, a União Europeia aplicou uma nova estratégia industrial em março de 2020 que pretende “*estimular o desenvolvimento de novos mercados para produtos circulares e neutros do ponto de vista climático*”, modernizando os setores intensivos em energia, como a siderurgia e as cimenteiras e os setores intensivos em recursos, como a indústria têxtil, de construção, produtos eletrónicos e plástico (Pacto Ecológico Europeu – Indústria Sustentável, Comissão Europeia, 2019).

Em segundo lugar, segundo a Fortune (2019), os consumidores estão dispostos a pagar mais por produtos produzidos de forma sustentável e a Comissão Europeia (2019), baseada na Accenture (2012), afirma que muito do investimento “sustentável” é motivado pela procura de produtos verdes por parte dos consumidores.

Em terceiro lugar, outro fator que influencia a procura por bens mais sustentáveis é a educação e consciencialização ambientais oferecidas às novas gerações, que acabam por se preocupar mais com os aspetos ambientais do dia-a-dia, ao contrário das gerações mais velhas (Cohen, 2015). Isto indica uma mudança gradual no comportamento dos consumidores no sentido de optarem por produtos mais sustentáveis.

Deste modo, verificamos uma crescente preocupação, tanto dos governos como da população em geral, em criar produtos e comportamentos sustentáveis que permitem a poupança de recursos naturais e da salubridade do ambiente. Assim, conclui-se que o novo produto da Lipor se encaixa nestas preocupações, pelo que se espera que venha a ter procura no futuro e inspire outras indústrias a fazer o mesmo.

Por outro lado, pode-se analisar a procura por escórias micronizadas através da contextualização com a indústria do cimento, uma vez que esta se encontra em crescimento. Deste modo, é interessante analisar a evolução das suas vendas ao longo dos anos e perceber como se comporta a procura por cimento, visto que as escórias micronizadas pretendem ser um substituto do mesmo.

Com efeito, como já foi referido, a indústria da construção, e conseqüentemente o consumo de cimento, está muito dependente do ciclo económico do momento. Os ciclos económicos são constituídos por períodos de expansão económica, de estagnação e de recessão. Dentro dos últimos anos, Portugal teve um pico na taxa de crescimento do PIB em 2017, de 3,51%, mas tem vindo a desacelerar todos os anos desde então (PORDATA, 2020). Se a economia entrar em recessão, segundo o FMI, haverá um “*enfraquecimento da produção industrial, do comércio, os fluxos de capital, o consumo de petróleo e o desemprego*” (Negócios, 2019). Naturalmente, a indústria da construção será uma das mais afetadas, no entanto, segundo a Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (FEPICOP), o setor da construção tem vindo a crescer desde 2017, depois do período de crise na Construção entre 2002 e 2016, apesar da desaceleração do crescimento do PIB, como se pode observar na Figura 12:

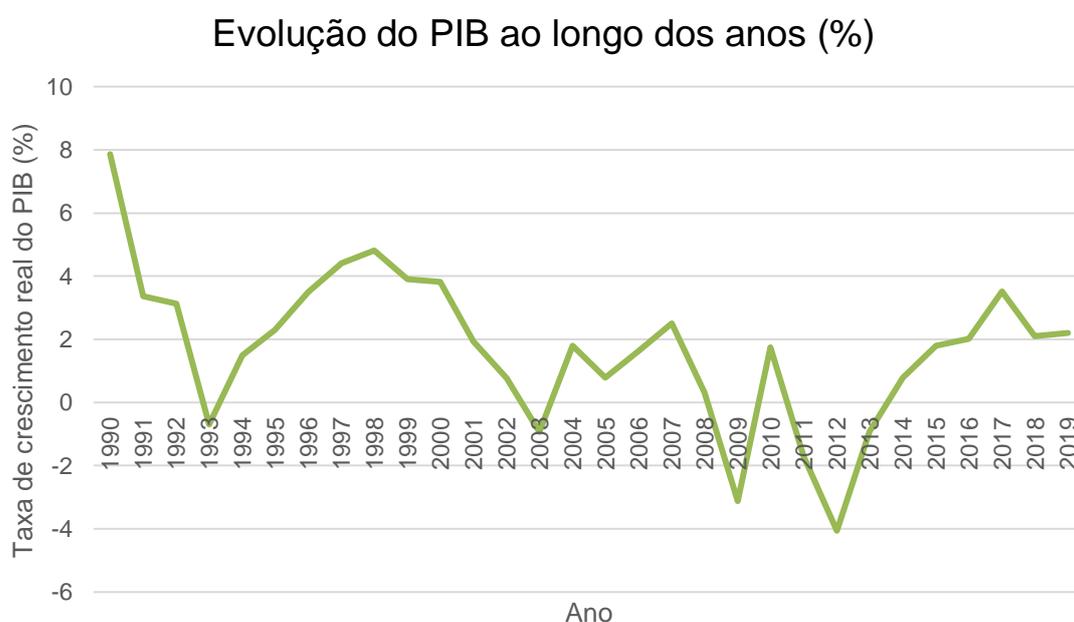


Figura 12 - Evolução do PIB português entre 1990 e 2019 (%) (PORDATA, 2019)

Os efeitos da conjuntura económica no setor da Construção refletem-se, também, nas vendas de cimento. Como se pode observar na Figura 13, entre os anos 2002 e 2016, os valores das vendas de cimento reduziram significativamente, comparativamente aos anos anteriores a 2002. De facto, esta descida é concordante com a descida nos valores do PIB para o mesmo período, no qual o país enfrentou uma *“crise estrutural e paralisante”* e cujo governo *“optou por uma política pró-cíclica adiando os investimentos em infraestruturas para depois de 2008”* (FEPICOP, 2009), prejudicando significativamente o setor da construção.

Em concordância com a evolução do PIB, nestes últimos anos tem-se observado um crescimento no setor da construção e, por consequência, uma subida nos valores das vendas de cimento e respetivas taxas de crescimento (Figura 13).

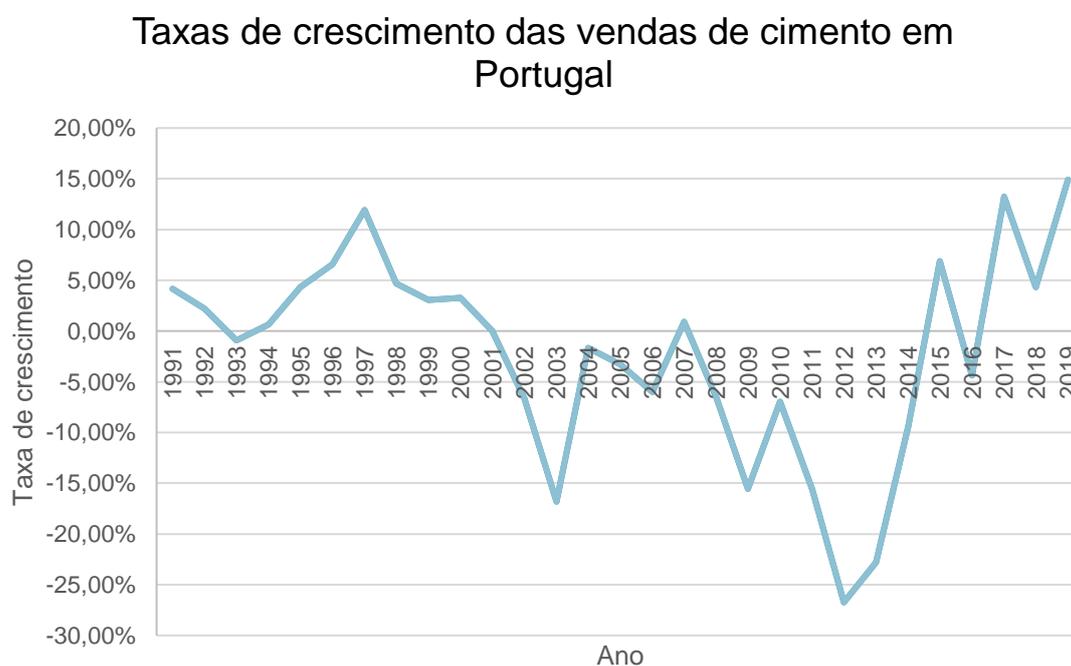


Figura 13 - Gráfico das taxas de crescimento das vendas de cimento em Portugal entre os anos de 1991 e 2019 (valores obtidos através de dados presentes nos sites do Banco de Portugal e da AICCOPN)

Contudo, a economia é afetada por vários fatores, nomeadamente políticos, sociais, ambientais, entre outros, para além de económicos, que tornam a economia imprevisível. De facto, no final do ano de 2019 teve início a pandemia de COVID-19 que está a afetar significativamente muitas empresas e indústrias a nível mundial e cujos efeitos já se sentirão no ano de 2020 com o decréscimo da economia mundial de 3%,

segundo o FMI (Fundo Monetário Internacional). O Banco de Portugal prevê uma queda no PIB português de cerca de 9,5% em 2020 e uma Balança de Bens e Serviços deficitária pela primeira vez desde 2011, ano em plena crise económica. No caso de haver uma segunda vaga a nível mundial, a queda no PIB português poderá chegar aos 13,1% (Mateus, 2020, 16 de junho). Para 2021 e 2022, o Banco de Portugal prevê um crescimento no PIB de, respetivamente, 5,2% e 3,8% (Banco de Portugal, 2020).

No que toca ao setor da construção, a AICCOPN (junho 2020) delineou “*dois cenários possíveis de evolução da produção do setor*” para o ano de 2020, um favorável (+0,6%) e outro adverso (-4,5%). Contudo, o consumo de cimento apresentou no primeiro semestre de 2020 uma variação positiva de 9,7% em termos homólogos (AICCOPN, julho 2020).

Assim, a curto prazo, os ciclos económicos poderão afetar momentaneamente a procura do produto da Lipor por influenciar a indústria da construção, mas a longo prazo, o crescimento da procura de cimento em todo o mundo juntamente com o crescente interesse em produtos mais ecológicos irão impulsionar a procura pelo substituto do cimento até à quantidade máxima de produção de 70 000 toneladas anuais.

APÊNDICE 2 - INQUÉRITO ÀS EMPRESAS DE PRÉ-FABRICADOS DE BETÃO

Encomendas de cimento

Sou estudante de Mestrado em Engenharia Industrial - Ramo da Logística e Distribuição na Universidade do Minho. Estou a realizar um estudo exploratório com vista à introdução no mercado de um produto verde substituto do cimento, criado a partir de escórias de incineração de resíduos urbanos provenientes da Lipor. Com este inquérito pretendo analisar as características do consumo de cimento por parte de empresas de pré-fabricados de betão de Portugal.

Este inquérito tem uma duração inferior a 5 minutos. Agradeço desde já a sua disponibilidade e participação.

Secção 1 - Encomendas de cimento para pré-fabricados de betão

Nesta secção pretende-se compreender as características das encomendas de cimento, incluindo o volume anual médio encomendado, o número de encomendas efetuadas por ano e o padrão de consumo.

Qual o volume anual médio encomendado de cimento para pré-fabricados de betão?
(em toneladas) *

Resposta

Qual a regularidade das encomendas de cimento efetuadas por ano? *

- Anualmente (1 encomenda por ano)
- Mensalmente (12 encomendas por ano)
- Semanalmente (52 encomendas por ano)
- Apenas quando é necessário
- Outro: _____

A quantidade encomendada é: *

- Constante (as quantidades encomendadas são sempre iguais ao longo do ano)

Sazonal (há uma certa altura do ano em que as quantidades encomendadas são superiores. Por exemplo: meses de Verão)

Irregular (varia de encomenda para encomenda)

Outro: _____

Qual é a altura do ano em que as quantidades encomendadas são superiores?

Responda apenas se selecionou "Sazonal" na questão anterior.

Resposta

Secção 2 – Embalagem do cimento

Nesta secção pretende-se perceber qual o tipo de embalagem do cimento utilizado pelo(s) seu(s) fornecedor(es).

Qual a tipologia de embalagem do cimento? *

Selecione a opção utilizada pelo(s) seu(s) fornecedor(es).

Big bags

Granel

Sacos

Outro: _____

Está satisfeito com a tipologia de embalagem do cimento utilizado pelo(s) seu(s) fornecedor(es)? *

Sim

Não

Se respondeu "Não" à questão anterior, por que razão não está satisfeito?

Resposta

Consideraria uma possibilidade a entrega de cimento ser feita em Big bags? *

Responda apenas se não respondeu "Big bags" na primeira questão desta secção.

Sim

Não

Se respondeu "Não" na questão anterior, qual o motivo da sua resposta?

Resposta

Secção 3 - Interesse num cimento ecológico

Nesta última secção pretende-se sondar a sensibilidade para um "cimento verde/ecológico" como substituto total do cimento.

Considera que a empresa para a qual trabalha poderia ter interesse num "cimento verde/ecológico" como substituto do cimento comum, assumindo que o custo não seria superior? *

Sim

Não

Outro: _____

APÊNDICE 3 - ANÁLISE DO INQUÉRITO

Uma vez que os clientes definidos pela Lipor para o produto resultante da valorização das escórias são empresas de pré-fabricados de betão, foi realizado um questionário *online* com o objetivo de perceber o consumo de cimento e as suas características por parte destas empresas. Para isso, o inquérito ~~teve como meio de dissolução~~ foi partilhado através (??) da plataforma *online* Google Forms e esteve disponível entre os dias 7 de fevereiro e 2 de março de 2020 para 26 das empresas questionadas e de 7 de setembro a 1 de outubro para 23 outras empresas. As empresas foram convidadas através de um *email* a responder ao inquérito, onde se pedia a sua colaboração no preenchimento do mesmo. Este email foi enviado a 49 empresas de pré-fabricados de betão de Portugal, tendo-se obtido 14 respostas válidas, uma taxa de resposta de 28,6%, aproximadamente.

Com efeito, o inquérito estava dividido em três secções: encomendas de cimento, embalagem do cimento e interesse no produto. Esta última secção apenas esteve presente no inquérito enviado ao segundo grupo (24 empresas), ou seja, as primeiras 26 empresas às quais foi enviado o inquérito não foram questionadas sobre este ponto. Na primeira secção, questionou-se relativamente ao volume anual médio encomendado, em toneladas, a regularidade das encomendas de cimento efetuadas por ano e se a quantidade encomendada era constante, sazonal, irregular ou outra. Com esta secção pretendia-se perceber quais os volumes de cimento normalmente envolvidos e utilizados pelas empresas desta indústria de forma a perceber onde se enquadra a capacidade produtiva da Lipor na resposta às necessidades da indústria. Para além disso, era importante perceber a regularidade das transações efetuadas tanto em termos temporais como quantitativos, para, desse modo, perceber se há, por norma, picos de procura (tanto esperados como inesperados).

As respostas obtidas nesta secção foram as seguintes:

Tabela 20- Respostas dos inquiridos às questões da Secção 1

Empresa	Volume anual médio encomendado (t)	Regularidade das encomendas	Uniformidade da quantidade encomendada
1	5400	Semanalmente	Outro
2	1500	Semanalmente	Sazonal
3	30000	Anualmente	Sazonal
4	4000	Outro	Constante
5	1200	Semanalmente	Constante
6	6000	Outro	Outro
7	2062	Semanalmente	Constante
8	3500	Outro	Irregular
9	1600	Semanalmente	Constante
10	5000	Apenas quando é necessário	Sazonal
11	5500	Semanalmente	Irregular
12	5200	Semanalmente	Constante
13	600	Outro	Sazonal
14	1580	Semanalmente	Constante

Da análise dos valores da Tabela 20 e da Figura 14 é possível concluir que a média é de, aproximadamente, 5224 toneladas de cimento encomendadas anualmente e a mediana de 3750 toneladas, estando 50% dos valores entre 1560 e 5425. O valor mais elevado é, claramente, 30 000 toneladas anuais e é bastante superior aos restantes

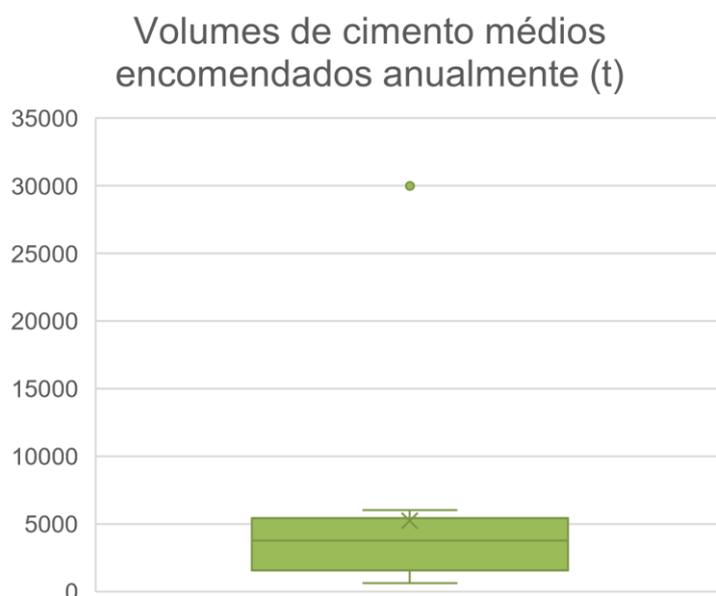


Figura 14 - Gráfico caixa de bigodes dos volumes anuais médios encomendados

Na segunda questão, foi pedido que os inquiridos indicassem a regularidade das encomendas efetuadas por ano. Os inquiridos podiam selecionar entre: “Anualmente (1 encomenda por ano)”, “Mensalmente (12 encomendas por ano)”, “Semanalmente (52 encomendas por ano)”, “Apenas quando é necessário” ou “Outro”.

Como se pode observar na Tabela 20, apesar de depender da estratégia de gestão de inventários optada por cada empresa, a grande maioria encomenda cimento semanalmente, apenas uma empresa encomenda só uma vez por ano, uma encomenda apenas quando precisa e as restantes (empresas 4, 6, 8 e 13) selecionaram a opção “Outro”. A empresa 4 referiu que encomenda três vezes por semana, ou seja, cerca de 150 encomendas por ano e as empresas 6 e 13 encomendam diariamente. Já a empresa 8 respondeu: “50 a 75 ton por semana dependendo das necessidades produtivas”, o que se assume que encomenda semanalmente. Assim, no gráfico da Figura 15, analisou-se a empresa 8 como tendo respondido “Semanalmente”. A empresa 3 selecionou a opção “Anualmente” mas essa opção não é concordante com a resposta que deu à questão seguinte para além de ser a única que respondeu “Anualmente”, o que indica que talvez tenha havido um lapso do respondente, pelo que não se colocou a sua resposta no gráfico da Figura 15.

Regularidade das encomendas

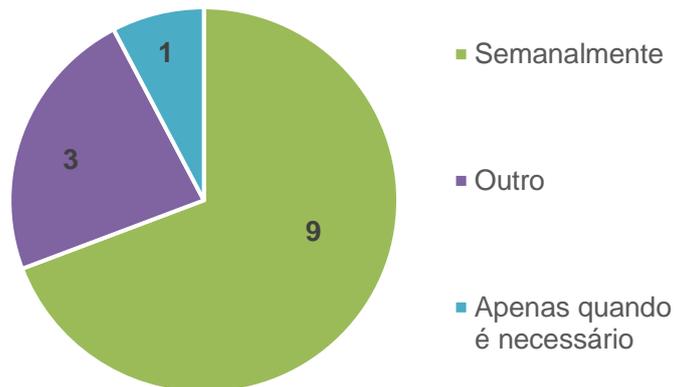


Figura 15 - Gráfico circular de frequências das respostas dos inquiridos sobre a regularidade das encomendas

Com a questão seguinte pretende-se perceber se as quantidades encomendadas são constantes (sempre iguais em todas as encomendas), sazonais (se há uma certa altura do ano em que as quantidades encomendadas são superiores, por exemplo, nos meses de Verão), irregulares (variam de encomenda para encomenda) ou outra opção diferente das anteriores. A Figura 16 ilustra a frequência das respostas.

Uniformidade das quantidades encomendadas

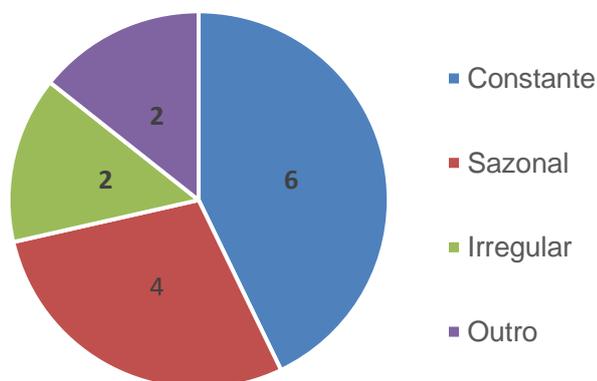


Figura 16 - Gráfico de frequências das respostas à questão sobre a uniformidade das quantidades encomendadas

Da análise da Tabela 20 e da Figura 16, verifica-se que o mais frequente é a constância nas quantidades encomendadas. No entanto, das 14 respostas, 8 deram outra resposta.

De facto, as quantidades encomendadas das empresas 8 e 11 são irregulares, as empresas 2, 3, 10 e 13 seleccionaram a hipótese “Sazonal”, mencionando que nos meses da Primavera e Verão, normalmente, o consumo de betão é superior por haver menos períodos de chuva e as empresas 1 e 6 seleccionaram a opção “Outro” referindo, respetivamente, que “o número de cargas (25 t) encomendadas semanalmente variam com o consumo previsto que depende das encomendas em carteira ou tipologia de produtos em produção” e que a quantidade é “confirmada diariamente com os encarregados”. Destas duas respostas pode assumir-se que se enquadram na opção “Irregular”. Assim, alterando o gráfico com este pressuposto obtém-se o seguinte resultado (Figura 17):

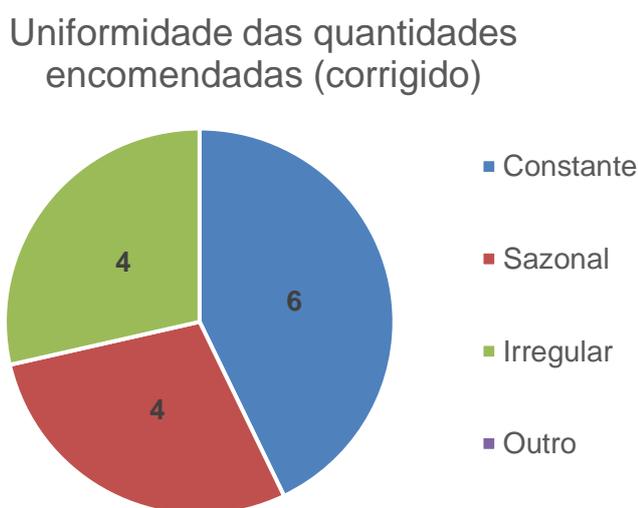


Figura 17 – Gráfico de frequências da uniformidade das quantidades encomendadas (corrigido)

Analisando este novo gráfico, é possível concluir que este aspeto depende de empresa para empresa e da sua estratégia de gestão de inventários, por não haver nenhuma opção significativamente mais frequente que as outras.

A secção seguinte do inquérito é relativa à embalagem do cimento para se perceber qual o tipo de embalagem utilizado pelos fornecedores de cimento das empresas inquiridas, a sua satisfação com o mesmo e a sua opinião relativamente à possibilidade de entrega de cimento em *big bags*. Com efeito, com a primeira questão pretende-se perceber se os fornecedores de cimento entregam o produto em *big bags*, a granel, em sacos ou outra tipologia. Os inquiridos seleccionaram todos a opção “Granel”, exceto a empresa 10 que respondeu “Outro”, mas cuja resposta foi “*Camião*”. Uma vez que o cimento a

granel é entregue, normalmente, em camiões-cisterna, assumiu-se que a resposta “Camião” se inclui na opção “Granel”. Juntamente a esta questão, todas as empresas sentem-se satisfeitas com esta tipologia.

Como última questão desta secção, as empresas foram inquiridas relativamente à possibilidade de as entregas de cimento serem feitas em *big bags* e todas responderam “Não”, ou seja, nenhuma considera viável essa hipótese. As suas justificações foram também concordantes e mostraram que se deve a questões logísticas, nomeadamente o facto de armazenarem o cimento em silos e estes só permitirem cimento a granel e das quantidades encomendadas serem muito elevadas.

Assim, das respostas obtidas, apesar da amostra reduzida e do baixo nível de confiança, é possível afirmar que o cimento é entregue a granel às empresas de pré-fabricados de betão, que estas estão satisfeitas com esta tipologia e as empresas não consideram viável a entrega em *big bags* por questões logísticas relacionadas com o armazenamento do cimento em silos.

Na terceira e última secção, apenas foram questionadas 23 empresas, tendo-se obtido 5 respostas. Esta secção apresenta apenas uma questão que está relacionada com o interesse das empresas num produto substituto do cimento mais sustentável. Com esta questão pretende-se averiguar o interesse destas empresas por um produto como o da Lipor, cujas respostas poderão contribuir para uma melhor previsão da procura por escórias micronizadas no futuro.

Deste modo, das 5 respostas, 3 foram positivas (empresas 11, 12 e 13) e as restantes foram “Outro”. Destas últimas, as respostas foram: “*Sim, desde que os critérios de resistência e qualidade se mantivessem*” (empresa 10) e “*Talvez*” (empresa 14), podendo considerar-se a primeira como sendo, também, positiva.

Apesar no número reduzido de respostas e, portanto, uma amostra pouco representativa da realidade, podemos afirmar que há uma abertura de algumas empresas para um produto como o da Lipor e, por isso, possíveis candidatos para clientes das escórias micronizadas.

APÊNDICE 4 - DADOS DOS BIG BAGS

Tabela 21 - Dimensões e preços unitários dos *big bags*, obtidos a partir de pedidos de orçamentos às empresas: Plastiagro, Eurogrip e João Violas, Filho.

			Preço por unidade						
Medidas (cm)	Capacidade (kg)	Fornecedor 1			Fornecedor 2			Fornecedor 3	
		1 a 49 un	50 a 249 un	250 + un	1 - 49 un.	50 - 249 un.	250 + un.	-----	
Simples	80x80x90	1000	3,50 €	3,30 €	3,10 €	---	---	---	----
	90x90x100	1000	5,00 €	4,80 €	4,60 €	3,55 €	3,34 €	3,13 €	----
	90x90x120	1000	6,20 €	6,00 €	5,80 €	4,32 €	4,07 €	3,82 €	----
	90x90x140	1000	7,00 €	6,80 €	6,40 €	4,57 €	4,30 €	4,03 €	----
	90x90x90	1000	----	----	----	----	----	----	3,50 €
	90x90x100	1250	----	----	----	----	----	----	3,70 €
	90x90x120	1500	----	----	----	----	----	----	4,00 €
C/ Saia de enchimento	90x90x100	1000	7,50 €	7,30 €	6,90 €	4,57 €	4,30 €	4,03 €	----
	90x90x120	1000	8,75 €	8,55 €	8,15 €	5,41 €	5,09 €	4,77 €	----
	90x90x135	1500	11,00 €	10,80 €	10,40 €	6,94 €	6,53 €	6,12 €	----
C/ saia de enchimento e válvula de descarga	90x90x90	1000	8,00 €	7,80 €	7,40 €	5,00 €	4,70 €	4,41 €	----
	90x90x135	1500	12,00 €	11,80 €	11,40 €	7,43 €	6,99 €	6,55 €	----
	90x90x200	1500	15,95 €	15,75 €	15,35 €	9,55 €	8,99 €	8,42 €	----
	90x90x120	1500	----	----	----	----	----	----	5,50 €
	100x100x200	1000	----	----	----	----	----	----	6,60 €
C/ Válvula de descarga	90x90x90	1000	----	----	----	----	----	----	3,60 €
	90x90x100	1250	----	----	----	----	----	----	3,80 €
	90x90x120	1500	----	----	----	----	----	----	4,70 €
Válvula de carga/ Válvula de descarga	90x90x160	1000	----	----	----	----	----	----	5,10 €

APÊNDICE 5 – ANÁLISE DE CUSTO DOS *BIG BAGS*

Tabela 22 - Dados e cálculos necessários para a percepção do espaço de armazenagem ocupado e custo total de cada tipo de *big bag* com saia de enchimento

	Tipo	Dimensões (cm)	Área da base (m ²)	Volume (m ³)	Peso limite (t)	Quantidade escórias micro. armaz. (t)	Tempo enchimento (min)	Nº <i>big bags</i> cheios/hora	Preço mínimo	Nº <i>big bags</i> perdidos (taxa de perda=5%)	Custo total
<i>Big bag c/ Saia de Enchimento</i>	1	90x90x100	0,81	0,81	1	1	7,2	8,33	4,03 €	30	2 510,42 €
	2	90x90x120	0,81	0,972	1	1	7,2	8,33	4,77 €	30	2 971,39 €
	3	90x90x135	0,81	1,0935	1,5	1,5	10,8	5,56	6,12 €	30	3 830,88 €

Tabela 23 - Cálculo do espaço de armazenagem ocupado por cada tipo de *big bag* com saia de enchimento por quantidade procurada semanalmente

Quantidade procurada anualmente (t)	Quantidade procurada semanalmente (t)	Nº horas de trabalho	Tipos 1 e 2			Tipo 3				
			Nº <i>big bags</i> cheios por semana	Espaço ocupado (m ²)	2 empilhados (m ²)	3 empilhados (m ²)	Nº <i>big bags</i> cheios por semana	Espaço ocupado (m ²)	2 empilhados (m ²)	3 empilhados (m ²)
7000	135	16,15	135	109,04	54,52	36,35	90	72,69	36,35	24,23
14000	269	32,31	269	218,08	109,04	72,69	179	145,38	72,69	48,46
21000	404	48,46	404	327,12	163,56	109,04	269	218,08	109,04	72,69
25000	481	57,69	481	389,42	194,71	129,81	321	259,62	129,81	86,54
28000	538	64,62	538	436,15	218,08	145,38	359	290,77	145,38	96,92
30850	593	71,19	593	480,55	240,27	160,18	396	320,37	160,18	106,79
34700	667	80,08	667	540,52	270,26	180,17	445	360,35	180,17	120,12
38850	747	89,65	747	605,16	302,58	201,72	498	403,44	201,72	134,48
39000	750	90,00	750	607,50	303,75	202,50	500	405,00	202,50	135,00
42000	808	96,92	808	654,23	327,12	218,08	538	436,15	218,08	145,38
46500	894	107,31	894	724,33	362,16	241,44	596	482,88	241,44	160,96
49000	942	113,08	942	763,27	381,63	254,42	628	508,85	254,42	169,62
56000	1077	129,23	1077	872,31	436,15	290,77	718	581,54	290,77	193,85
63000	1212	145,38	1212	981,35	490,67	327,12	808	654,23	327,12	218,08
70000	1346	161,54	1346	1090,38	545,19	363,46	897	726,92	363,46	242,31

APÊNDICE 6 – CENÁRIOS DE PROCURA DE ESCÓRIAS MICRONIZADAS

Tabela 24 - Cenários de quantidades procuradas de escórias micronizadas anualmente

		Cenários de taxas de crescimento			
		1	2	3	4
		5%	10%	20%	30%
	Ano				
Quantidade procurada de escórias micronizadas anualmente (t)	1	7 000	7 000	7 000	7 000
	2	7 350	7 700	8 400	9 100
	3	7 718	8 470	10 080	11 830
	4	8 103	9 317	12 096	15 379
	5	8 509	10 249	14 515	19 993
	6	8 934	11 274	17 418	25 991
	7	9 381	12 401	20 902	33 788
	8	9 850	13 641	25 082	43 924
	9	10 342	15 005	30 099	57 101
	10	10 859	16 506	36 118	70 000

APÊNDICE 7 – ANÁLISE DO VP DAS DUAS OPÇÕES DE TRANSPORTE DAS ESCÓRIAS ENTRE A CVE E A PLANTA DE TRATAMENTO DAS MESMAS

Tabela 25 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 1 da Procura

Cenário 1 da Procura				Opção A			Opção B			
Ano	Procura anual (t)	Procura semanal (t)	Nº horas de trabalho p/ semana	Nº dias trabalhados	Custo p/ semana	Custo p/ ano	Investimento no Veículo	Nº operadores necessários	Custo anual c/operador(es) (aprox.)	
1	7 000	135	16,15	1	350 €	18 200 €	123 800 €	1	5 598 €	
2	7 350	141	16,96	1	350 €	18 200 €	--	1	5 878 €	
3	7 718	148	17,81	1	350 €	18 200 €	--	1	6 172 €	
4	8 103	156	18,70	1	350 €	18 200 €	--	1	6 481 €	
5	8 509	164	19,64	1	350 €	18 200 €	--	1	6 805 €	
6	8 934	172	20,62	1	350 €	18 200 €	--	1	7 142 €	
7	9 381	180	21,65	1	350 €	18 200 €	--	1	7 502 €	
8	9 850	189	22,73	1	350 €	18 200 €	--	1	7 878 €	
9	10 342	199	23,87	1	350 €	18 200 €	--	1	8 271 €	
10	10 859	209	25,06	2	700 €	36 400 €	--	2	8 685 €	
					VP (5%)	151 708,80 €			VP (5%)	177 118,68 €
					VP (7,7%)	132 461,30 €			VP (7,7%)	170 293,08 €

Tabela 26 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 2 da Procura

Cenário 2 da Procura				Opção A			Opção B			
Ano	Procura anual (t)	Procura semanal (t)	Nº horas de trabalho p/ semana	Nº dias trabalhados	Custo p/ semana	Custo p/ ano	Investimento no Veículo	Nº operadores necessários	Custo anual c/operador(es) (aprox.)	
1	7 000	135	16,15	1	350 €	18 200 €	123 800 €	1	5 598€	
2	7 700	148	17,77	1	350 €	18 200 €	--	1	6 158€	
3	8 470	163	19,55	1	350 €	18 200 €	--	1	6 774€	
4	9 317	179	21,50	1	350 €	18 200 €	--	1	7 452€	
5	10 249	197	23,65	1	350 €	18 200 €	--	1	8 197€	
6	11 274	217	26,02	2	700 €	36 400 €	--	1	9 016€	
7	12 401	238	28,62	2	700 €	36 400 €	--	1	9 918€	
8	13 641	262	31,48	2	700 €	36 400 €	--	1	10 910€	
9	15 005	289	34,63	2	700 €	36 400 €	--	1	12 001€	
10	16 506	317	38,09	2	700 €	36 400 €	--	2	13 201€	
					VP (5%)	202 274,68 €			VP (5%)	190 123,06 €
					VP (7,7%)	174 341,23€			VP (7,7%)	181 072,88 €

Tabela 27 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 3 da Procura

Cenário 3 da Procura				Opção A			Opção B			
Ano	Procura anual (t)	Procura semanal (t)	Nº horas de trabalho p/ semana	Nº dias trabalhados	Custo p/ semana	Custo p/ ano	Investimento no Veículo	Nº operadores necessários	Custo anual c/operador(es)	
1	7 000	135	16,15	1	350 €	18 200 €	123 800 €	1	5 598 €	
2	8 400	162	19,38	1	350 €	18 200 €	--	1	6 718€	
3	10 080	194	23,26	1	350 €	18 200 €	--	1	8 062€	
4	12 096	233	27,91	2	700 €	36 400 €	--	1	9 674€	
5	14 515	279	33,50	2	700 €	36 400 €	--	1	11 609€	
6	17 418	335	40,20	2	700 €	36 400 €	--	2	13 931€	
7	20 902	402	48,24	3	1 050 €	54 600 €	--	2	16 717€	
8	25 082	482	57,88	3	1 050 €	54 600 €	--	2	20 060€	
9	30 099	579	69,46	3	1 050 €	54 600 €	--	2	24 072€	
10	36 118	695	83,35	4	1 400 €	72 800 €	--	3	28 887€	
					VP (5%)	290 839,24 €			VP (5%)	228 348,99€
					VP (7,7%)	247 982,19 €			VP (7,7%)	212 504,60€

Tabela 28 - Comparação de custos e Valor Presente das Opções A e B de Transporte das escórias do Cenário 4 da Procura

Cenário 4 da Procura				Opção A			Opção B			
Ano	Procura anual (t)	Procura semanal (t)	Nº horas de trabalho p/ semana	Nº dias trabalhados	Custo p/ semana	Custo p/ ano	Investimento no Veículo	Nº operadores necessários	Custo anual c/operador(es)	
1	7 000	135	16,15	1	350 €	18 200 €	123 800 €	1	5 598 €	
2	9 100	175	21,00	1	350 €	18 200 €	--	1	7 278 €	
3	11 830	228	27,30	2	700 €	36 400 €	--	1	9 461 €	
4	15 379	296	35,49	2	700 €	36 400 €	--	2	12 300 €	
5	19 993	384	46,14	2	700 €	36 400 €	--	2	15 990 €	
6	25 991	500	59,98	3	1 050 €	54 600 €	--	2	20 787 €	
7	33 788	650	77,97	4	1 400 €	72 800 €	--	3	27 023 €	
8	43 924	845	101,36	5	1 750 €	91 000 €	--	3	35 130 €	
9	57 101	1098	131,77	6	2 100 €	109 200 €	--	4	45 668 €	
10	70 000	1346	161,54	7	2 450 €	127 400 €	--	5	55 985 €	
					VP (5%)	426 428,87 €			VP (5%)	288 854,69 €
					VP (7,7%)	359 159,51 €			VP (7,7%)	261 914,55 €

ANEXO 1 – DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO DO USO DAS FOTOGRAFIAS TIRADAS NAS INSTALAÇÕES DA LIPOR



A LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, Associação de Municípios, declara que autoriza a utilização de fotografias tiradas pela aluna Maria do Rosário Dias Costa Leite de Castro nas nossas instalações nos dia 10 de fevereiro de 2020, única e exclusivamente para os efeitos da Dissertação desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial – Ramo de Logística e Distribuição - da Universidade do Minho e somente após o envio das fotografias finais à Lipor e autorização da Organização para uso das mesmas.

Mais, declara que as mesmas só podem ser usadas para fins académicos, sem que seja feita qualquer referência à identidade dos colaboradores ou outras questões que coloquem em causa quer a integridade física, social e moral dos colaboradores fotografados, quer do bom nome e prestígio da Organização.

Baguim do Monte, 11 de fevereiro de 2021

O Administrador-delegado



Dr. Fernando Leite

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbà, A., Collivignarelli, M. C., Sorlini, S., & Bruggi, M. (2014). On the reliability of reusing bottom ash from municipal solid waste incineration as aggregate in concrete. *Composites Part B: Engineering*, 58, 502-509. doi:10.1016/j.compositesb.2013.11.008
- Abdullah, M. H., Rashid, A. S. A., Anuar, U. H. M., Marto, A., & Abuelgasim, R. (2019). Bottom ash utilization: A review on engineering applications and environmental aspects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527. doi: 10.1088/1757-899x/527/1/012006
- Agudelo, I. (2009, June). *Supply Chain Management in the Cement Industry* (Dissertação de Mestrado). Massachusetts Institute of Technology
- Aguirre, A. D., & Hennies, W. T. (2010). Logística para agregados (brita e areia) em grandes centros urbanos. *Revista Escola De Minas*, 63(4), 639-644. doi:10.1590/s0370-44672010000400007
- AICCOPN (2019). Síntese Estatística da Habitação. Disponível em: https://www.aiccopn.pt/archive/doc/202002_Sintese_Estatistica_Habitacao.pdf
- AICCOPN (junho, 2020). Conjuntura da Construção. Perspetivas para a Produção da Construção Revistas em Cenário de Incerteza. Disponível em: https://www.aiccopn.pt/archive/doc/Conjuntura_AIC_AEC_jun2020.pdf
- AICCOPN (julho, 2020). Conjuntura da Construção. Setor em Atividade com procura a diferentes velocidades. Disponível em: https://www.aiccopn.pt/archive/doc/202007Conjuntura_AIC_AEC_julho_2020_VF.pdf
- Akasaka, Y., D'Agosto, M. D. A., Franca, L. S., & Oliveira, C. M. (2014). O transporte na cadeia logística da indústria cimenteira. *Revista Brasileira de Administração Científica*, 6(1), 151–163. <https://doi.org/10.6008/spc2179-684x.2015.001.0009>
- Alsop, P. A. (2001). *The Cement Plant Operations Handbook* (3rd ed.). Tradeship Publications Limited.
- Amaral, A. C. (2018). Desenvolvimento de propostas de economia circular aplicadas à EMAC – Empresa Municipal de Ambiente de Cascais, E.M., S.A. (Cascais Ambiente) (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Andersen, M. S. (2006). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2(1), 133-140. doi:10.1007/s11625-006-0013-6

- Ashraf, M. S., G, et al. (2019). Production of Eco-Cement Exclusively from Municipal Solid Waste Incineration Residues. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 149, 332–342. doi:10.1016/j.resconrec.2019.06.018.
- Banco de Portugal (2020). Projeções económicas. Acedido a 17 de julho de 2020, em: <https://www.bportugal.pt/page/projecoes-economicas>
- Banco de Portugal (2020). Índice de vendas de cimento (1990=100) – Mensal. Acedido a 17 de julho de 2020, em: <https://bpstat.bportugal.pt/serie/12559743>
- Banco de Portugal. Quadros do Setor. Acedido a 20 de novembro de 2020, em <https://www.bportugal.pt/QS/qsweb/Dashboards>
- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T. (2014). Warehouse & Distribution Science. Georgia Institute of Technology, School of Industrial and Systems Engineering, The Supply Chain and Logistics Institute, latest release: version 0.96
- Bethanis, S. (2007). Value-added utilisation of municipal waste incinerator bottom ash as lightweight aggregate in concrete. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 102, 951–960. doi: doi:10.2495/SDP070912
- Blasenbauer, D., Huber, F., Lederer, J., Quina, M. J., Blanc-Biscarat, D., Bogush, A., ... Fellner, J. (2020). Legal situation and current practice of waste incineration bottom ash utilisation in Europe. *Waste Management*, 102, 868–883. doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.031
- Born, J.P. & van Brecht, A. (2014). Recycling potentials of MSWI Bottom Ash. CEWEP. Disponível em: http://www.cewep.eu/m_1318
- CEWEP. Bottom Ash Factsheet. Disponível em: <https://www.cewep.eu/bottom-ash-factsheet/>
- Chen, C. X., Pierobon, F., Zamora-Cristales, R., Ganguly, I., Sessions, J., & Eastin, I. (2017). Modeling the Processing and Transportation Logistics of Forest Residues Using Life Cycle Assessment. *Journal of Forestry*, 115(2), 86–94. <https://doi.org/10.5849/jof.2016-027>
- Childerhouse, P., Aitken, J. & Towill, D. (2002). Analysis and design of focused supply chain. *Journal of Operations Management*, Vol. 20 No. 6, pp. 675-689.
- Christopher, M. (2011). *Logistics and Supply Chain Management*. Prentice Hall.
- Christopher, M., Towill, D. (2001). An Integrated Model for the Design of Agile Supply Chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 31, No. 4, 235-246.

- Christopher, M., Towill, D. (2002). Developing Market Specific Supply Chain Strategies. *The International Journal of Logistics Management* 13(1):1-14. doi: 10.1108/09574090210806324
- Coelho, J., Chaves, B., Lopes, M. L., Segadães L. & Cristelo, N. (2020). Stabilizing Municipal Solid Waste Incineration Residues with Alternative Binders. *Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III*, 445–450. doi:10.1201/9780429289798-70.
- Cohen, S. (2015, February 28). The Growing Level of Environmental Awareness. Acedido a 15 de outubro de 2020, em: https://www.huffpost.com/entry/the-growing-level-of-envi_b_6390054
- Comissão Europeia (2015). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- Cristelo, N., Segadães, L., Coelho, J., Chaves, B., Sousa, N. R., Lopes, M. L. (2020). Recycling municipal solid waste incineration slag and fly ash as precursors in low-range alkaline cements. *Waste Management*, 104, 60-73. doi: 10.1016/j.wasman.2020.01.013
- CSCMP. (2013). Council of Supply Chain Management Professionals: Supply Chain Management Terms and Glossary.
- Das, S. (2015). Internship Report On Shipment process Of “Lafarge Surma cement Ltd.”. BRAC University.
- Declaração Ambiental Secil-Outão, 2017. Acedido a 19 de setembro de 2020, em: http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2018/12/DA-Outao-2017_vs.final-APA.pdf
- Diário da República Eletrónico. *Código do Trabalho*. Acedido a 14 de janeiro de 2021, em: <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada/-/lc/115530809/202008031325/73547996/diploma/indice?consolidacaoType=Portaria&consolidacaoTag=Trabalho>
- Elhasia, T., & Noche, B. (2013). Simulation of a sustainable cement supply chain; proposal model review. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 7(3), 418–426.
- Ellen MacArthur Foundation (2013). *Towards the Circular Economy, vol.1: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Cowes: Ellen MacArthur Foundation
- Elias, J. M. (2017). Recuperação De Escórias Resultantes Da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos para incorporação em materiais cerâmicos (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

- Faozanudin, A. R., & Susanto, N. (2019). Performance measurement analysis of cement sack warehouse using balanced scorecard methods. *Industrial Engineering Online Journal*, 8(3).
- FEPICOP (2009). Relatório FEPICOP da Construção 2008/2009.
- Fisher, M.L. (1997). What is the right supply chain for your product?. *Harvard Business Review*, March/April, 105-16.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048
- Han, H., Chung, W., Wells, L., & Anderson, N. (2018). Optimizing Biomass Feedstock Logistics for Forest Residue Processing and Transportation on a Tree-Shaped Road Network. *Forests*, 9(3), 121. doi:10.3390/f9030121
- Hassan, M. M. D. (2002). A framework for the design of warehouse layout. *Facilities*, 20(13/14), 432-440. doi: 10.1108/02632770210454377
- Holm, O., & Simon, F. G. (2017). Innovative treatment trains of bottom ash (BA) from municipal solid waste incineration (MSWI) in Germany. *Waste Management*, 59, 229-236. doi: 10.1016/j.wasman.2016.09.004
- Huang, S. H., Uppal, M., & Shi, J. (2002). A product driven approach to manufacturing supply chain selection. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(4), 189-199. doi: 10.1108/13598540210438935
- Johansson, J., Liss, J.-E., Gullberg, T., & Björheden, R. (2006). Transport and handling of forest energy bundles—advantages and problems. *Biomass and Bioenergy*, 30(4), 334-341. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.07.012>
- Joseph, A., Snellings, R., Heede, P. V. D., Matthys, S., & Belie, N. D. (2018). The Use of Municipal Solid Waste Incineration Ash in Various Building Materials: A Belgian Point of View. *Materials*, 11(1), 141. doi: 10.3390/ma11010141
- Kaipia, R., & Holmström, J. (2007). Selecting the right planning approach for a product. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 12 No.1, 3-13.
- Keefe, R. (2014). Woody Biomass Logistics. In N. Anderson, J. Hogland, & K. Muhlenfeld (Eds.), *Cellulosic Energy Cropping Systems* (pp. 251-279). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118676332>
- Keulen, A., Florea, M. V., & Brouwers, H. J. (2012). Upgrading MSWI bottom ash as building material for concrete mixes. *18th International Conference on Building Materials (IBAUSIL), Weimar*.
- Lacy, P., & Rutqvist, J. (2015). Waste to wealth: The circular economy advantage. New York:

Palgrave Macmillan. doi:10.1057/9781137530707

- Latif, M. (2010). Simulation of a Libyan Cement Factory. *Proceedings of the World Congress on Engineering, 3*.
- Levitt, T. (1965). Exploit the Product Life Cycle. *Harvard Business Review*. Disponível em: http://marketch.cloud/pdf/Exploit_the_Product_Life_Cycle.pdf
- Li, Y., Hao, L., & Chen, X. (2016). Analysis of MSWI Bottom Ash Reused as Alternative Material for Cement Production. *Procedia Environmental Sciences, 31*, 549-553. doi:10.1016/j.proenv.2016.02.084
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production, 115*, 36-51. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.042
- Lipor (2020). Propósito, Missão e Política. Disponível em: <https://www.lipor.pt/pt/sobrenos/proposito-missao-e-politica/>
- Lynn, C. J., Ghataora, G. S., & Obe, R. K. D. (2017). Municipal incinerated bottom ash (MIBA) characteristics and potential for use in road pavements. *International Journal of Pavement Research and Technology, 10(2)*, 185–201. doi: 10.1016/j.ijprt.2016.12.003
- Macedo, A. R., Fonseca, J., Alves, R., Oliveira, J. A., Carvalho, M. A., Pereira, G. (2018). The impact of Industry 4.0 to the environment in the cement industry supply chain. *Proceedings of ECOS 2018 – The 31st International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and environmental impact on energy systems*.
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Czajczyńska, D., Stanchev, P., Katsou, E., Rostkowski, P., . . . Spencer, N. (2017). Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy, 141*, 2013-2044. doi:10.1016/j.energy.2017.11.128
- Mansoornejad, B., Pistikopoulos, E. N., & Stuart, P. R. (2013). Scenario-based strategic supply chain design and analysis for the forest biorefinery using an operational supply chain model. *Int. J. Production Economics, 144*, 618-634. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.04.029
- Martinho, M. G. M. (1998). Fatores Determinantes para os Comportamentos de Reciclagem. Caso de estudo: sistema de vidrões. Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente, especialidade Sistemas Sociais. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- Mason-Jones, R., Naylor, B., & Towill, D. R. (2000). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *International Journal of Production Research, 38(17)*, 4061-4070. doi:10.1080/00207540050204920
- Mateus, J. (2020, 16 de junho). Banco de Portugal mais pessimista: PIB pode cair 9,5% a 13,1% em 2020. Acedido a 17 de julho, 2020, em: <https://expresso.pt/economia/2020-06-16->

Banco-de-Portugal-mais-pessimista-PIB-pode-cair-95-a-131-em-2020

Meadows, D. L., Meadows, D. H., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *THE LIMITS TO GROWTH*. New York, New York: Universe Books.

Miura, M. (2008). Modelagem Heurística no problema de distribuição de cargas fracionadas de cimento (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo.

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2015). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380. doi:10.1007/s10551-015-2693-2

Noche, B., & Elhasia, T. (2013). Approach to Innovative Supply Chain Strategies in Cement Industry; Analysis and Model Simulation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 75, 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.04.041>

Pinto, C. (2015). Betão “mais verde”. COMPETE2020. Acedido a 25 de fevereiro de 2020, em: https://www.compete2020.gov.pt/noticias/detalhe/9719_Betao

PORDATA (2020). PIB (base=2016). Disponível em: [https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+\(base+2016\)-130](https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+(base+2016)-130)

PORDATA (2020). Salário mínimo nacional. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Sal%C3%A1rio+m%C3%ADnimo+nacional-74-7892>

PORDATA (2020). Tratamento de resíduos: total e por tipos de tratamento. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Europa/Tratamento+de+res%C3%adduos+total+e+por+tipos+de+tratamento-1384-312787>

Port' Ambiente. Disponível em: https://www.lipor.pt/upload/Lipor/ficheiros/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_CSR_Jose%20Paulo_Port' Ambiente.pdf

Porteous, A. (2005). Why energy from waste incineration is an essential component of environmentally responsible waste management. *Waste Management*, 25(4), 451–459. doi: 10.1016/j.wasman.2005.02.008

Qiao, X., Ng, B., Tyrer, M., Poon, C., & Cheeseman, C. (2008). Production of lightweight concrete using incinerator bottom ash. *Construction and Building Materials*, 22(4), 473–480. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.11.013

Rebelato, M. G., Santos, D. F. L., & Rodrigues, A. M. (2011). Alteração da logística de transporte Do cimento: um estudo de caso em uma empresa da região Amazônica. *XVIII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 1–15. Acedido em: <https://www.researchgate.net/publication/260245007>

Ribeiro, L. (2019). O cimento é um dos maiores poluidores do mundo. Porque não podemos

deixar de o usar?. Visão. Acedido a 4 de fevereiro de 2020, em: <https://visao.sapo.pt/atualidade/sociedade/2019-08-03-o-cimento-e-um-dos-maiores-poluidores-do-mundo-porque-nao-podemos-deixar-de-o-usar/>

Rifat, K. I. (2014). *Internship Report on Supply Chain Management of “Lafarge Surma cement Ltd”*. (Relatório de estágio). BRAC University.

Robson, C. (2002). *Real World Research* (2nd edn), Oxford, Blackwell.

Rushton, A., Baker, P., & Croucher, P. (2014). *The handbook of logistics and distribution management*. London: Kogan Page.

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2007). *Research Methods for Business Students*.

Secil. Processo de Fabrico de Cimento. Acedido a 20 de outubro de 2020, em: <http://www.secil-group.com/wp-content/uploads/2016/10/Processo-de-Fabrico-de-Cimento.pdf>

Segurança Social. (2020). Cálculo das Contribuições. Acedido a 14 de janeiro de 2021, em: <http://www.seg-social.pt/calculo-das-contribuicoes1>

Sellitto, M. A., Borchardt, M., & Pereira, G. M. (2009). Análise de uma operação logística de carregamento e expedição de cimento por simulação computacional. *Revista Gestão Industrial*, 5(4), 130–151. <https://doi.org/10.3895/s1808-04482009000400008>

Seraj, S., Nikravan, M., Ramezani pour, A. A., & Zende del, P. (2017). Evaluation Of The Application Of Municipal Solid Waste Incinerator (Mswi) Ash In Civil Engineering Using A Sustainability Approach. *Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium*.

Shiau, T. A., & Chuang, Y. R. (2012). Evaluating gravel transport sustainability: A case study of Taiwan’s northeast corridor. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(4), 287–292. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2012.01.003>

Silva, R., Brito, J. D., Lynn, C., & Dhir, R. (2019). Environmental impacts of the use of bottom ashes from municipal solid waste incineration: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 23–35. doi: 10.1016/j.resconrec.2018.09.011

Spinelli, R., Magagnotti, N., & Nati, C. (2007). Recovering logging residue: Experiences from the Italian Eastern Alps. *Croatian Journal of Forest Engineering*.

Soman, H. (2019). *Productivity, Costs, and Best Management Practices for Major Timber Harvesting Frameworks in Maine* (Dissertação de Mestrado). Universidade de Maine.

Song, Y., Li, B., Yang, E., Liu, Y., & Ding, T. (2015). Feasibility study on utilization of municipal solid waste incineration bottom ash as aerating agent for the production of autoclaved aerated concrete. *Cement and Concrete Composites*, 56, 51-58. doi:10.1016/j.cemconcomp.2014.11.006

- Stank, T. P., & Goldsby, T. J. (2000). A framework for transportation decision making in an integrated supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2), 71–77. doi: 10.1108/13598540010319984
- Tang, P., Chen, W., Xuan, D., Zuo, Y., & Poon, C. S. (2020). Investigation of cementitious properties of different constituents in municipal solid waste incineration bottom ash as supplementary cementitious materials. *Journal of Cleaner Production*, 258. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120675
- Tang, P., Florea, M., Spiesz, P., & Brouwers, H. (2015). Characteristics and application potential of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ashes from two waste-to-energy plants. *Construction and Building Materials*, (83), 77-94. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.033
- Tang, P., Florea, M., Spiesz, P., & Brouwers, H. (2016). Application of thermally activated municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash fines as binder substitute. *Cement and Concrete Composites*, 70, 194-205. doi:10.1016/j.cemconcomp.2016.03.015
- Tellis, W. M. (1997). Application of a Case Study Methodology. *The Qualitative Report*, 3(3), 1-19. Disponível em: <https://nsuworks.nova.edu/tqr/vol3/iss3/1>
- Valorsul (n.d). Agregado para Construção Rodoviária. Acedido a 5 de fevereiro de 2020, em: <http://www.valorsul.pt/pt/seccao/areas-de-negocio/produtos/agregado-para-construcao-rodoviaria>
- Van Bavel, J. (2013). The world population explosion: Causes, backgrounds and projections for the future. Acedido a 2 de abril de 2020, em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3987379/>
- Vieira, A., Veloso, H., Dias, L. M. S., Pereira, G. A. B., Oliveira, J. A., Carvalho, M. S., & Figueiredo, M. C. (2019). Using simulation to model the Logistic operations of a company of the cement industry. *FME Transactions*, 47(4), 683–690. <https://doi.org/10.5937/fmet1904683v>
- Watts, J. (2019). Concrete: The most destructive material on Earth. Acedido a 2 de abril de 2020, em: <https://www.theguardian.com/cities/2019/feb/25/concrete-the-most-destructive-material-on-earth>
- Weetman, C. (2017). A circular economy handbook for business and supply chains: repair, remake, redesign, rethink. London: Kogan Page.
- Wegen, G. V., Hofstra, U., & Speerstra, J. (2013). Upgraded MSWI Bottom Ash as Aggregate in Concrete. *Waste and Biomass Valorization*, 4(4), 737-743. doi:10.1007/s12649-013-9255-6
- Wiles, C. C., & Shepherd, P. B. (1999). Beneficial use and recycling of municipal waste combustion residues: a comprehensive resource document. *Golden, Colo. (1617 Cole*

Boulevard, Golden, 80401-3393): National Renewable Energy Laboratory.

Yemshanov, D., McKenney, D. W., Fraleigh, S., McConkey, B., Huffman, T., & Smith, S. (2014). Cost estimates of post harvest forest biomass supply for Canada. *Biomass and Bioenergy*, 69, 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.07.002>