



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia

Valorização Energética de Resíduos Caso de Estudo: Pneus Usados e Resíduos Têxteis Industriais

Liliane Ailine Miranda Almeida dos Reis

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Doutor Leonel Jorge Ribeiro Nunes
Co-orientador: Prof. Catedrático João Carlos de Oliveira Matias

Covilhã, Outubro de 2016

Agradecimentos

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais não teria sido possível.

À Fundação Millennium BCP pelo apoio financeiro o qual deu-me a oportunidade da realização deste mestrado.

Aos orientadores pela ajuda, disponibilidade, orientação, pelas críticas, sugestões e opiniões e contribuições fundamentais para realização desta dissertação.

Aos meus irmãos, pais, e companheiro pelo apoio, compreensão e carinho.

A todas as pessoas que colaboraram direta e/ou indiretamente para realização desta dissertação.

Resumo

Com a crescente utilização e consumo energético, nomeadamente recursos fósseis, assim como a geração de resíduos, os quais são recursos materiais e potenciais recursos energéticos alternativos, existe a necessidade de uma gestão energética, de resíduos e ambiental que vise a máxima eficiência com o mínimo de custos, desperdícios e impactos ambientais. Vários são os países e entidades conscientes desta situação, pelo que valorizam energeticamente resíduos destinados à eliminação. No entanto, a valorização energética está fortemente dependente da composição e características dos resíduos, as técnicas disponíveis, e o custo-benefício. Neste sentido, através da estratégia de caso de estudo e análise de dois casos, pneus em fim de vida (PFV) e resíduos têxteis industriais, a presente dissertação tem por intuito demonstrar a possibilidade de valorização energética de resíduos e os benefícios ambientais e económicos associados. Da valorização energética de PFV é possível simultaneamente a reciclagem, valorização energética e eliminação dos resíduos. Para além disso, os PFV têm um poder calorífico quase equivalente a combustíveis fósseis, com impactos inferiores e baixo custo, o que os torna um substituto ideal em processos de alto consumo energético. Quanto aos resíduos têxteis industriais, a sua valorização para produção de energia térmica a ser aplicada nos processos produtivos permite a otimização do ciclo produtivo, o aproveitamento do recurso energético, evitar os custos do envio para aterros e da aquisição de combustíveis fósseis, assim como previne-se os impactos destes.

Palavras-chave

Resíduos, Gestão de Resíduos, Valorização Energética, Pneus em Fim de Vida (PFV), Resíduos Têxteis Industriais.

Abstract

The increase of energy use and consumption, particularly fossil resources, and the generation of waste, which are material and energy resources, requires an efficient management. The energy, waste and environmental management should aim maximum efficiency with minimum cost, waste and environmental impacts. Several countries and entities are aware of this situation, and therefore they recover energy from the waste for disposal. However, energy recovery is strongly dependent on the composition and characteristics of the waste, the available techniques and the cost-benefit. In this perspective, this thesis studies two cases of waste energy recovery, namely End-of-life-tires (ELT) and Industrial Textile Waste (ITW). The main objective is to demonstrate the possibility of recovering energy from waste and the environmental and economic benefits of this practice. The ELT Energy Recovery allows to simultaneously recover the material and the energy content, and disposal of the waste. In addition, the ELT's heating value is almost equivalent to fossil fuels, but with the advantage of less impacts and significant lower cost. ELT is an ideal alternative fuel for energy-intensive processes. As for the ITW, its thermal energy recovery in the textile processing allows the optimization of the production cycle, exploitation of the waste energy content, avoidance of landfilling and fossil fuels costs, and prevention of their impacts.

Keywords

Waste, Waste Management, Energy Recovery, End-of-Life-Tires (ELT), Industrial Textile Waste.

Índice

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Nota Introdutória	1
1.2. Enquadramento Temático	1
1.2.1. Conjuntura atual dos resíduos	1
1.2.2. Conjuntura atual energética	5
1.3. Problemática de Estudo	10
1.4. Objetivos da Dissertação	11
1.5. Âmbito e limitação	12
1.6. Metodologia da Investigação	12
1.7. Estrutura da dissertação	13
1.8. Nota Conclusiva	14
Referências	15

Capítulo 2 - Resíduos

2.1. Nota Introdutória	17
2.2. Os Resíduos e as suas classificações	17
2.2.1. Definição	17
2.2.2. Classificação	19
2.2.2.1. Classificação dos resíduos quanto à perigosidade	19
2.2.2.2. Classificação dos resíduos quanto à origem	21
2.3. Gestão de Resíduos	22
2.3.1. Prevenção, Redução e Reutilização	22
2.3.2. Valorização	24
2.3.2.1. Reciclagem	25
2.3.2.2. Valorização energética e outros tipos valorização	27
2.3.3. Eliminação	29
2.4. Nota Conclusiva	33
Referências	34

Capítulo 3 - Caso de Estudo: Pneus Usados

3.1. Nota Introdutória	39
3.2. Enquadramento teórico	39
3.2.1. Componentes e características dos pneus	40
3.2.2. Etapas na vida de um pneu	43
3.2.3. Potenciais Riscos ambientais e para saúde pública	45

3.2.3.1. Riscos para Saúde Pública	45
3.2.3.2. Riscos Ambientais	46
3.2.4. Sistemas de Gestão de Pneus Usados na Europa	49
3.2.5. Gestão de Pneus Usados	51
3.2.5.1. Recauchutagem	51
3.2.5.2. Reciclagem	52
3.2.5.3. Valorização Energética	53
3.3. Aliapur	57
3.4. Ecopneus	59
3.4.1. Resultados ano 2013	60
3.4.2. Resultados ano 2014	63
3.5. Discussão	66
3.6. Nota Conclusiva	68
Referências	69

Capítulo 4 - Caso de Estudo: Resíduos Têxteis Industriais

4.1. Nota Introdutória	73
4.2. Enquadramento teórico	73
4.3. Valorização Energética de Resíduos Têxteis Industriais	79
4.4. Nota Conclusiva	84
Referências	84

Capítulo 5 - Discussão e Conclusão

5.1. Discussão	87
5.2. Conclusão	88
5.3. Perspetivas futuras de investigação	90

Bibliografia	91
---------------------	----

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Hierarquia da Gestão de Resíduos	22
Figura 2.2 - Ciclos de Reciclagem	26
Figura 2.3 - Estrutura de um aterro sanitário (adaptado de Graltec Treinamentos)	31
Figura 3.1 - Componentes de um pneu (adaptado da Basel Convention)	40
Figura 3.2 - Esquema de ciclo de vida de um pneu (adaptado da Basel Convention)	44
Figura 3.3 - Riscos de pneus à saúde pública: (a) depósito de pneus em baldios; (b) acumulação de água em pneus; (c) mosquito <i>aedes aegypti</i> . A disposição de pneus em baldios leva à acumulação de água e lixos, o que os tornam o ambiente propício ao desenvolvimento de mosquitos transmissores de doenças.	46
Figura 3.4 - Sistema da Gestão de Pneus Usados de Responsabilidade do Produtor	50
Figura 4.1 - Diagrama das principais etapas da cadeia produtiva têxtil	75
Figura 4.2 - (a) Briquetes de resíduos têxteis compostos 90% algodão e 10% poliéster; (b) caldeira a vapor que usa pellets de madeira como combustível utilizado no estudo; (c) silo do sistema de alimentação do forno; (d) forno de caldeira a vapor	80

Lista de Gráficos

Gráfico 1.1 - Geração de resíduos por atividade económica e doméstico EU-28 (%)	3
Gráfico 1.2 - Geração de resíduos perigosos por país em 2004 e 2012 (kg por habitante)	3
Gráfico 1.3 - Evolução do tratamento de resíduos, EU-28, 2004-2012 (milhões de toneladas)	4
Gráfico 1.4 - Evolução do Consumo Energia Primária por fonte (ktep)	7
Gráfico 1.5 - Evolução da meta de Portugal em matéria de Eficiência Energética para 2020 ..	8
Gráfico 1.6 - Dependência Energética por tipo de combustível, EU-28, 1990, 2000 e 2013 (1000 ktep)	9
Gráfico 3.1 - Valorização energética: emissões de metais pesados PFV e carvão	56
Gráfico 3.2 - Emissões de GEE da Ecopneus em 2014	64
Gráfico 3.3 - Material footprint da Ecopneus em 2014	65
Gráfico 3.4 - Water footprint da Ecopneus em 2014	65
Gráfico 4.1 - Poder calorífico para matéria bruta têxtil e combustíveis fósseis	78

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Resíduos setoriais gerados/operados por nível de perigo e principais setores de atividade (2010-2014)(1000 toneladas)	5
Tabela 1.2 - Evolução do consumo de energia primária por fonte (%)	7
Tabela 1.3 - Produção Mensal de eletricidade a partir de biomassa e resíduos	8
Tabela 2.1 - Características dos Resíduos que os tornam perigosos de acordo com Anexo III da Diretiva 2008/98/CE	20
Tabela 2.2 - Classificação dos resíduos pela origem e natureza de acordo com a Lista Europeia de Resíduos	21
Tabela 2.3 - Operações de Valorização incluídas no Anexo II da Diretiva 2008/98/CE e do Decreto-lei 73/2011	25
Tabela 2.4 - Tecnologias e Processos de Valorização Energética de resíduos.....	27
Tabela 2.5 - Operações de Eliminação incluídas no Anexo I da Diretiva 2008/98/CE e do Decreto-lei 73/2011	30
Tabela 2.6 - Classificação de aterros e os tipos de resíduos aceites de acordo com a Diretiva 1999/31/CE e Decisão do Conselho 2003/33/CE	32
Tabela 3.1 - Componentes dos pneus e a sua função	41
Tabela 3.2 - Composição dos pneus ligeiros e pesados	41
Tabela 3.3 - Quantidade utilizada e poder calorífico médio de combustíveis alternativos em 2012 na Indústria de Cimento Alemã	43
Tabela 3.4 - Conteúdo energético e emissões de carbono de combustíveis	43
Tabela 3.5 - Fatores que influenciam o aumento da taxa de lixiviação e concentração de substâncias libertadas pelos pneus	48
Tabela 3.6 - Tecnologias de Valorização Energética de PFV à base de combustão	54
Tabela 3.7 - Comparação CDP e combustíveis fósseis sólidos	55
Tabela 3.8 - Exemplo de emissões CO ₂ para produção de uma tonelada de clínquer	56
Tabela 3.9 - Levantamento ambiental de nove métodos de valorização por cada tonelada de PFV valorizado, estudo da Aliapur	58
Tabela 3.10 -Emissões de GEE da Ecopneus em 2013	60
Tabela 3.11 - Consumo de água Ecopneus em 2013	61
Tabela 3.12 - Alterações de ecossistemas aquáticos, Ecopneus (2013)	62
Tabela 4.1 - Principais insumos e resíduos gerados por etapa do processamento têxtil	75
Tabela 4.2 - Técnicas de tratamento e valorização de efluentes e resíduos do processamento têxtil.....	77
Tabela 4.3 - Caracterização laboratorial dos briquetes de resíduos têxteis analisados	80
Tabela 4.4 - Valor de mercado em Portugal de combustíveis selecionados no ano 2015	82
Tabela 4.5 - Custo anual dos combustíveis	83

Tabela 4.6 - Período de payback em anos para diferentes combustíveis 83

Lista de Acrónimos

CDP	Combustível Derivado de Pneus
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
COV	Componentes Orgânicos Voláteis
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigénio
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DQO	Demanda Química de Oxigénio
ETAL	Estação de Tratamento de Águas Lixiviantes
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EU-28	28 Países da União Europeia
Eurostat	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
GEE	Gases de Efeito Estufa
HCB	Hexaclorobenzeno
INE	Instituto Nacional de Estatística (Portugal)
LCA	<i>Life-cycle assessment</i> (Avaliação do Ciclo de Vida)
PA	Poliamida
PCB	<i>Polychlorinated biphenyl</i> (Bifenilos policlorados)
PCDD	<i>Polychlorinated dibenzodioxins</i> (Dibenzodioxinas policloradas)
PCDF	<i>Polychlorinated dibenzofurans</i> (Dibenzofuranos policlorados)
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PET	Polietileno Tereftalato
PFV	Pneus em Fim de Vida
PP	Polipropileno
PR	Pneus Recauchutados
PU	Pneus Usados
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i> (policloreto de vinil)
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

Capítulo 1

1. Introdução

1.1. Nota Introdutória

O aumento da dependência energética e em recursos energéticos fósseis, assim como o aumento do desperdício de recursos energéticos alternativos existentes em resíduos devido a gestão ineficiente são situações presentes no contexto atual. Cada vez mais é necessária uma gestão energética e de resíduos que vise a máxima eficiência com o mínimo de custo, desperdícios associados, e impactos ambientais, tanto a nível de poluição como a nível de redução da utilização de recursos naturais findáveis. Neste sentido o primeiro capítulo desta dissertação tem como objetivo introduzir e situar o leitor na temática em estudo e a sua importância no contexto atual. Assim, primeiramente, será feito um enquadramento temático e analisada a sua importância. Subsequentemente serão apresentados os objetivos da dissertação, assim como o âmbito e limitações deste estudo. É dado a conhecer ao leitor a metodologia por trás do estudo que valida as conclusões a serem tiradas desta investigação. Por fim é explicada a estrutura e organização da dissertação.

1.2. Enquadramento temático

Enquanto o mundo se encaminha para a evolução tecnológica e a sociedade se torna cada vez mais consumista, a quantidade de energia necessária para atender os avanços e o bom funcionamento dos processos e os resíduos gerados aumentam. Este crescimento na dependência energética e na geração de resíduos implica a necessidade de uma gestão energética e de resíduos que vise o máximo aproveitamento dos recursos, mínimo de desperdícios possíveis e impactos ambientais. Tendo em conta o carácter fulcral da energia para o bom funcionamento dos sistemas, o elevado desperdício de recursos existentes nos resíduos, e os impactos ambientais associados a ambos, há a necessidade de perceber a importância destes no contexto atual, pelo que a seguir os resíduos e a energia são contextualizados.

1.2.1. Conjuntura atual dos resíduos

Resíduos, segundo a Diretiva 2008/98/CE, são *“quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer”* [1], o que representa uma fonte considerável de materiais e de energia, que dependendo da sua gestão pode ser desperdiçada. Para além de ser recurso perdido, a sua eliminação pode apresentar impactos

ambientais graves, desde a contaminação de lençóis freáticos e solos, no caso de despejo em aterros, a poluição atmosférica através de emissões durante o processo de incineração, assim como pode apresentar um risco para a saúde pública.

A disposição de resíduos em aterro pode levar à lixiviação de substâncias tóxicas nos solos, águas subterrâneas e águas superficiais, contaminando os solos e águas, assim como afetando o ecossistema. É de se fazer notar que os impactos ambientais da lixiviação estão relacionados com a natureza dos materiais do qual é derivado, que dependendo do material maior será a gravidade. Não só a contaminação dos solos e águas é um problema dos aterros, mas também a emissões de gases de efeito estufa e outros gases poluentes advindos da decomposição dos elementos orgânicos dos resíduos. Numa primeira fase há a decomposição sob condições aeróbicas produzindo dióxido de carbono, e num estágio final sob condições anaeróbicas produz uma elevada quantidade de metano, que não só é poluente, mas também pode levar a incêndios, o que apresenta ser um risco [2]. Por sua vez a incineração produz Gases de Efeito Estufa (GEE) e tem como subprodutos as cinzas, os quais podem conter metais pesados e outros elementos poluentes, os quais serão depositados em aterros [2]. Todavia, existem sistemas de controlo ambiental para redução dos impactos ambientais da incineração através de filtros para redução das emissões e outros mecanismos para recuperação dos metais existentes na cinzas e escórias [3].

Dados estatísticos da Eurostat de 2012, revelam que nos países pertencentes à União Europeia (EU-28), a produção total de resíduos por atividade económica e urbano foi de 2515 milhões de toneladas, com uma produção média por habitante de quase cinco toneladas. A atividade com a maior produção de resíduos foi a do sector da construção com uma produção total de 821 milhões de toneladas, equivalente a 33%. As indústrias extrativas representam o segundo maior gerador de resíduos, com uma percentagem de 29% ou de 734 milhões de toneladas. Das restantes atividades: o sector produtivo (indústrias transformadoras) representa 11% com a geração de 270 milhões de toneladas; os resíduos urbanos gerados foram de 213 milhões de toneladas; e o sector energético representa 4% dos resíduos gerados, equivalente a 96 milhões de toneladas; os restantes 15% de resíduos gerados são de outras atividades económicas, nomeadamente, do sector de serviços, distribuição, agricultura, pesca e entre outros (Gráfico 1.1) [4]-[6].

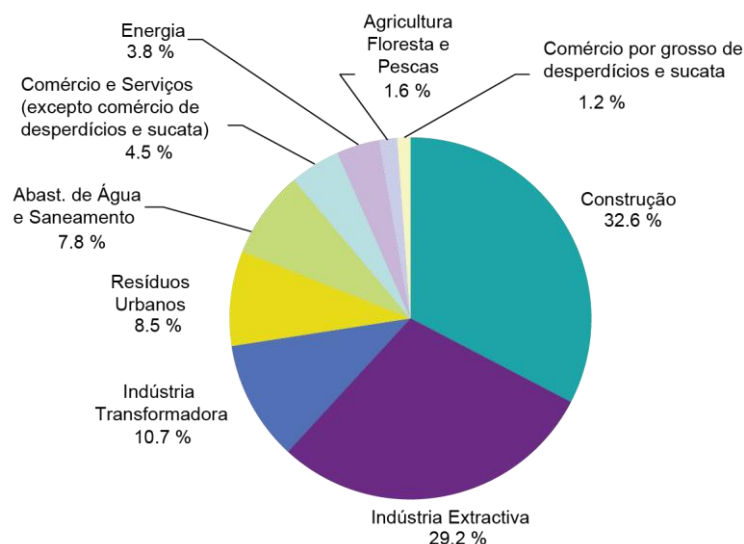
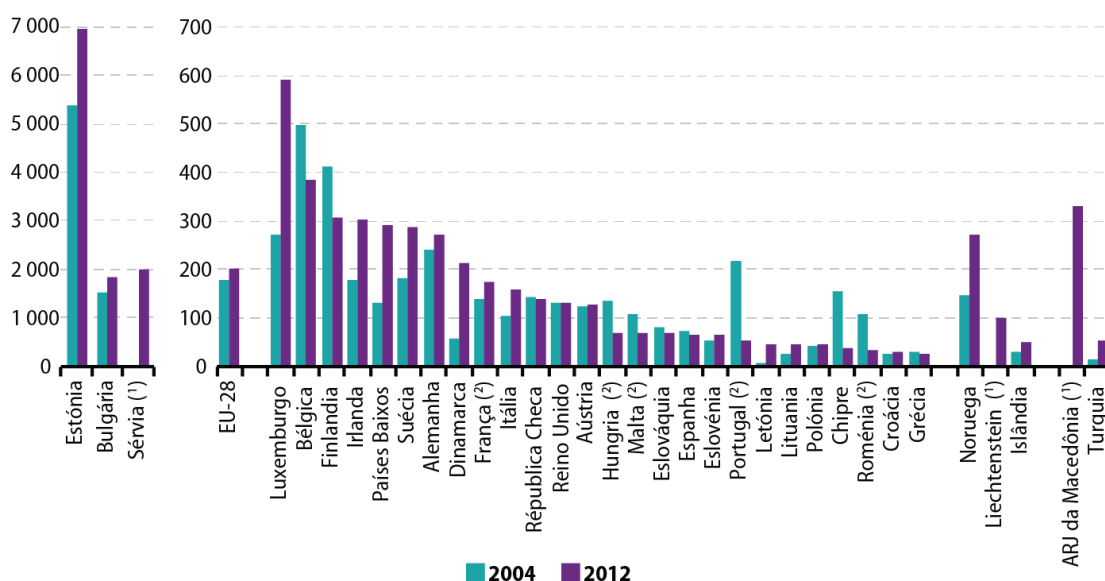


Gráfico 1.1 - Geração de resíduos por atividade económica e doméstico EU-28 (%) [4]

De entre os resíduos gerados em 2012 na EU-28, 99,9 milhões de toneladas são resíduos perigosos, o equivalente a 4% do total de resíduos gerados. Comparativamente aos anos anteriores, nomeadamente 2004, houve um aumento na geração de resíduos perigosos, com um crescimento de 10% por habitante [5].



Os dois gráficos apresentam diferentes escalas para o eixo de y.

(1) 2004: indisponível.

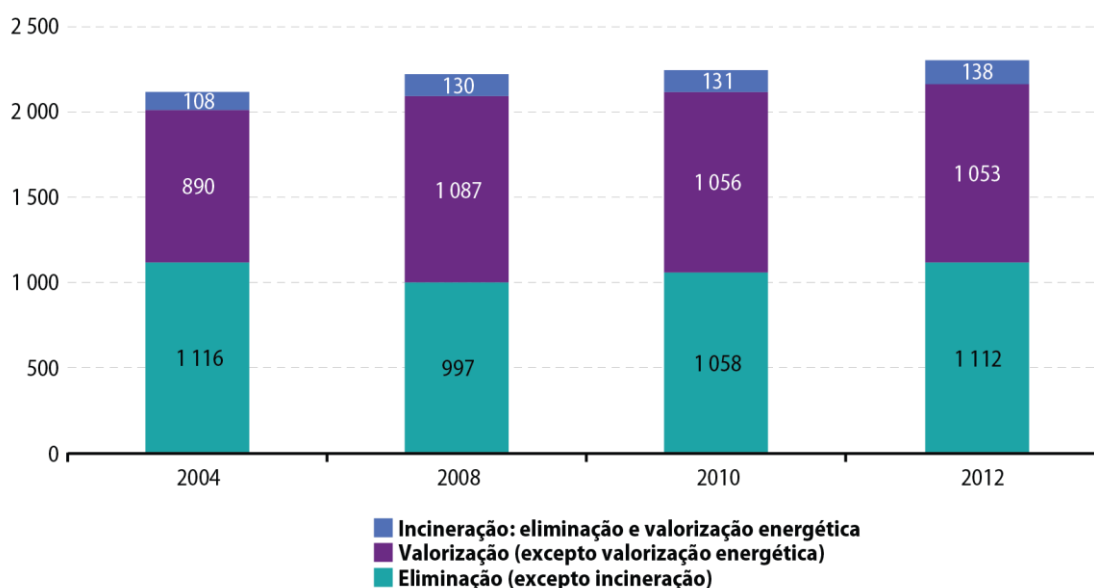
(2) 2004: estimativa.

Gráfico 1.2 - Geração de resíduos perigosos por país em 2004 e 2012 (kg por habitante) [5], [6]

No que diz respeito ao tratamento dos resíduos, cerca de 2302 milhões de toneladas de resíduos foram tratados no ano de 2012 na EU-28, no qual estão incluídos os resíduos importados, pelo que os dados não são comparáveis com os resíduos gerados. Dos resíduos tratados, os dois

principais tratamentos são a valorização dos materiais e a disposição em aterro. A valorização dos materiais representa 46%, dos quais 80% são referentes à reciclagem e 20% à *Backfilling* – operações de valorização, em que os resíduos adequados são utilizados como enchimentos em áreas escavadas ou para fins de engenharia e paisagismo, sendo o resíduo um substituto para matéria-prima e materiais não residuais [7]. Os restantes 6% são referentes à valorização energética (4%) e à incineração sem valorização energética [4]-[6].

De acordo com os dados do Eurostat (Gráfico 1.3), verifica-se que ao longo dos anos, do período de 2004 a 2012 houve um aumento na incineração com valorização energética, assim como houve um aumento na valorização dos materiais, passando de 890 milhões de toneladas em 2004 para 1053 milhões de toneladas em 2012, equivalente a um crescimento na ordem dos 18,3%. Contudo o cenário da eliminação dos resíduos pela disposição em aterros é instável, com diminuições e aumentos, e uma ligeira redução de 0,4% em 2012 em relação a 2004. Quanto à incineração, incluindo a valorização energética, o cenário apresenta ser promissor, com um aumento de 27% de 2004 para 2012. No entanto a disposição de resíduos em aterro continua a ser a principal forma de tratamento de resíduos, sendo quase 50% do destino dos resíduos, o que apresenta ser um desperdício de recursos.



Dados de 2006 indisponíveis.
 Dados de 2012 são estimativas.

Gráfico 1.3 - Evolução do tratamento de resíduos, EU-28, 2004-2012 (milhões de toneladas) [5], [6]

No que concerne ao cenário de Portugal, segundo dados estatísticos da INE (Instituto Nacional de Estatística), em 2014 as empresas geraram um total de 11,3 milhões de toneladas de resíduos, dos quais 80% foram valorizadas. As atividades económicas que apresentam uma maior geração e/ou operação de resíduos são a indústria transformadora e a gestão e valorização dos resíduos. A indústria transformadora no ano de 2014 gerou em torno de um total de 2,7 milhões

de toneladas de resíduos, o que representa 24% dos resíduos gerados por sector de atividade económica. Neste sector as indústrias que se destacaram no ano em causa foram as de pasta, papel e cartão com 528,6 mil toneladas (20%), e as metalúrgicas de base com 497,8 mil toneladas (18%) [8].

No período de 2010 a 2014 foram geradas em Portugal um total de 56,6 milhões de toneladas de resíduos sectoriais pelas diversas atividades económicas. Deste valor acumulativo ao longo desses quatro anos, os resíduos sectoriais foram maioritariamente resíduos não perigosos, como pode ser vista na Tabela 1.1. Em média, cerca de 76% dos resíduos sectoriais gerados nesse período de tempo foram conduzidos para operações de valorização, tendo-se atingido no ano de 2012 um máximo de 80,4% [8].

Tabela 1.1 - Resíduos setoriais gerados/operados por nível de perigo e principais setores de atividade (2010-2014)(1000 toneladas) [8]

Tipologia de resíduos	Agricultura Floresta e Pescas	Indústrias Extrativas	Indústrias Transformadoras	Energia	Abast. de Água e Saneamento	Gestão e valorização de resíduos	Construção	Comércio e Serviços	Total
Não Perigosos	393	2,705	14,880	1,468	3,044	17,231	7,659	6,275	53,653
Perigosos	7	8	1,024	63	146	1,014	119	586	2,965
Total de resíduos	399	2,713	15,903	1,531	3,189	18,245	7,778	6,860	56,619

No que diz respeito aos resíduos urbanos, em 2014 cada habitante gerou diariamente 1,2kg/dia, o que implica que foram gerados 4,7 milhões de toneladas de resíduos urbanos. Os registos da geração de resíduos urbanos para o período de 1995 a 2014 mostra que em Portugal ainda se privilegia a disposição destes resíduos em aterro, sendo que no ano de 2014 cerca de 49% do total teve esse destino [8].

Quanto ao tratamento dos resíduos, segundo dados estatísticos de 2012 da Eurostat, do total de 10,2 milhões de toneladas de resíduos tratados em Portugal 45% dos resíduos foram reciclados, 37% foram destinados a aterros, 17% foram valorizados energeticamente, e apenas 1% foi incinerado [5], [6]. Nota-se que a valorização dos resíduos representa 62% das operações de tratamento de resíduos, o que é positivo, pois demonstra que se dá prioridade à recuperação do potencial do material e energético, todavia 38% dos resíduos é destinada ao aterro, o que é mais de 1/3 dos resíduos tratados.

1.2.2. Conjuntura atual energética

A energia encontra-se no núcleo da civilização moderna desde a Revolução Industrial, acontecimento histórico marcante no qual se deu avanços tecnológicos que modificaram e moldaram a forma que se utiliza energia. Os constantes avanços tecnológicos posteriores à

Revolução Industrial continuam e cada vez mais são mais dependentes do uso energético, o que leva à existência da necessidade de fontes de energia alternativas, renováveis e sustentáveis, de modo a reduzir os impactos ambientais e evitar o estado irreversível.

O contexto mundial atual, mais especificamente dos últimos 15 anos (2000-2014), revela uma tendência crescente no consumo energético, com um crescimento na ordem de 2,2%/ano. Este consumo implica um aumento na produção de energia de 2,3%/ano, o que por sua vez leva a uma crescente das emissões de dióxido de carbono (CO₂) de 2,3%/ano, e um decréscimo da intensidade energética na ordem de 1,45/ano [9]. Tendo em conta as emissões de gases de efeito estufa (GEE) consequência da combustão de combustível para produção de energia, dados estatísticos e estudos da *International Energy Agency* (IEA) demonstram que a concentração de CO₂ em 2014 é 40% superior à metade de 1800s, e o crescimento anual é de 2ppm nos últimos 10 anos, assim como houve um aumento significativo nos níveis de metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O). Das emissões de GEE no ano 2010, 68% foram referentes à produção energética, 7% dos processos industriais, 11% da agricultura e 14% de outras atividades. É de salientar que as emissões do sector energético são primordialmente de CO₂, o qual representa 90% das emissões de GEE. Em 2013 as emissões globais de CO₂ foram, principalmente, do sector da eletricidade e aquecimento (42%), do sector de transportes (23%) e do sector industrial (19%). Dos 42% de emissões de CO₂ referentes à eletricidade e geração de calor 18% são referentes à Indústria [10]. Nesta perspetiva verifica-se uma forte relação entre a eficiência energética, os impactos ambientais e económicos, bem como uma forte contribuição do sector industrial para o contexto atual. Nota-se então que alterações na gestão energética e adoção de técnicas de valorização dos resíduos por parte das indústrias terá um grande impacto a nível da redução dos impactos ambientais. Um exemplo disso é a constante preocupação pelos governos e indústrias na europa e união europeia que levou à criação de sistemas de gestão energética que visam a melhoria contínua da eficiência e desempenho energético, e legislações e diretivas que estabelecem metas e requisitos obrigatórios a serem atendidos pelas organizações e indústrias, o que teve consequências positivas a nível da redução do consumo e produção energética no período de 2000-2014 de aproximadamente 0,3%/ano e 1,2%/ano na europa, respetivamente. Na união europeia esse decréscimo foi superior, tendo-se reduzido 1,5%/ano na produção e 0,6%/ano no consumo para o mesmo período de tempo. Esta redução de consumo e produção implicou um decréscimo das emissões de CO₂ de 1%/ano e 1,3%/ano na europa e união europeia, respetivamente [9].

No que diz respeito ao contexto nacional português, o país é fortemente dependente de recursos energéticos fósseis, nomeadamente, petróleo e derivados, carvão e gás natural, os quais são escassos endogenamente. Esta escassez de recursos fósseis conduz a uma dependência energética do exterior, sendo a taxa de dependência em 2014 de 71%. É de se fazer notar que esta taxa tem decrescido desde de 2005, ano no qual era de 88,8%. Esta redução na dependência é devido, principalmente, à diminuição no consumo de energias primárias fósseis,

nomeadamente, petróleos e derivados. Tendo em conta o Gráfico 1.4 e Tabela 1.2, verifica-se que a variação do consumo energético primário em Portugal de 2005-2014 revela um aumento médio de 0,2%/ano no consumo de carvão, uma diminuição anual de 5,7% no consumo de petróleo e derivados, e um decréscimo médio de 0,6%/ano no consumo de gás natural. Quanto à biomassa, o qual inclui resíduos vegetais/florestais, licores sulfítivos, biogás e resíduos sólidos urbanos (parte renovável), apresenta uma taxa média de crescimento no mesmo período de 0,1%. De um modo geral, o cenário atual demonstra uma tendência de redução no consumo e produção energético, assim como nas emissões de CO₂. A evolução do consumo de energias primárias sem uso não energético revela que o país se encontra no bom caminho para o cumprimento da meta de eficiência energética de 25% em 2020 (Gráfico 1.5). Mesmo com este cenário positivo o uso de recursos energéticos de origem fóssil continua significativo, representando cerca de 74% do total do consumo de energia primária do país. Verifica-se que, segundo dados estatísticos de 2014, o petróleo e derivados continua a ser a principal fonte de energia primária (44,7%), seguido das renováveis (25,5%) e do gás natural (16,3%) [11], [12].

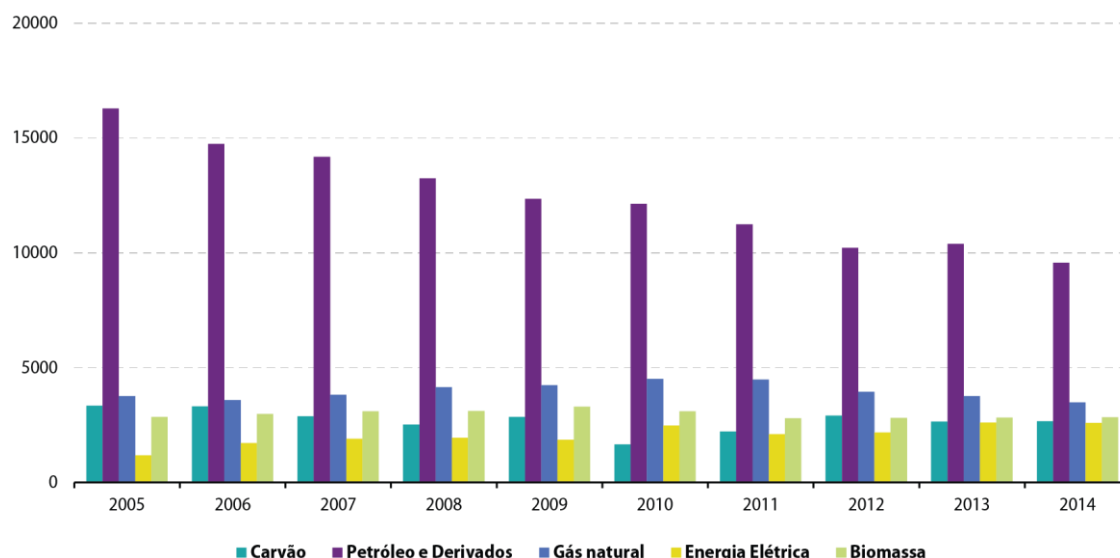


Gráfico 1.4 - Evolução do Consumo Energia Primária por fonte (ktep) [12]

Tabela 1.2 - Evolução do consumo de energia primária por fonte (%) [12]

Fonte	Ano										MÉDIA
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Carvão	-	-1.1%	12.9%	12.4%	13.1%	42.0%	34.1%	31.2%	-9.0%	0.6%	0.2%
Petróleo e Derivados	-	-9.5%	-3.8%	-6.6%	-6.7%	-1.8%	-7.3%	-9.1%	1.7%	7.9%	-5.7%
Gás natural	-	-4.4%	6.3%	8.8%	1.8%	6.5%	-0.5%	11.9%	-4.6%	7.5%	-0.6%
Energia Elétrica	44.5%	11.4%	2.3%	-4.4%	32.5%	14.6%	3.2%	19.6%	0.2%	0.2%	10.5%
Biomassa	-	4.2%	3.8%	0.5%	6.3%	-6.1%	-9.8%	0.2%	0.5%	0.9%	0.1%
Consumo energia primária	-	-4.0%	-1.7%	-3.4%	-1.4%	-3.0%	-4.1%	-2.7%	0.2%	4.7%	-2.8%

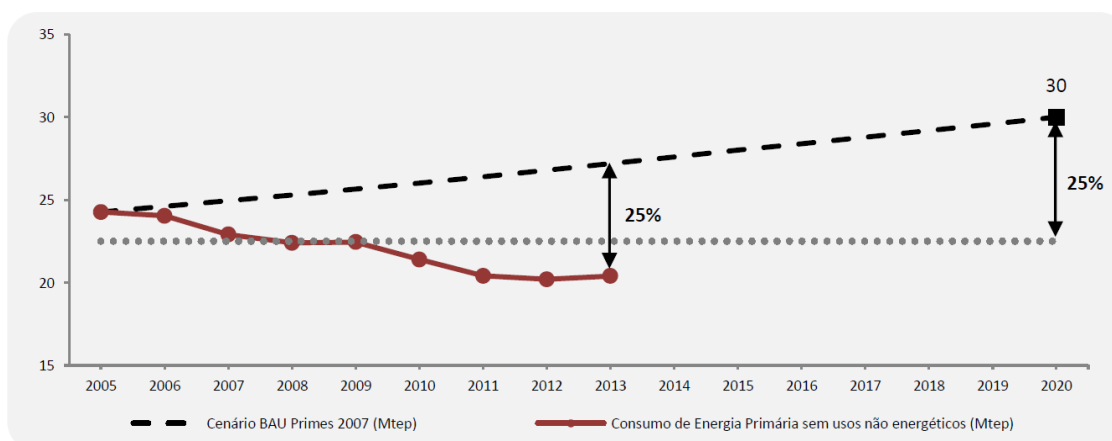


Gráfico 1.5 - Evolução da meta de Portugal em matéria de Eficiência Energética para 2020 [11]

No que se refere ao consumo total de energia final por fonte, segundo dados estatísticos de 2013, o petróleo continua a ser a principal fonte (48%), seguida da eletricidade (26%) e do gás natural (10%), e o calor representa apenas 9% do consumo de energia final [11]. Em termos dos recursos energéticos renováveis a predominante é a energia hídrica e eólica utilizada na produção de eletricidade. Quanto à biomassa e resíduos, estes são utilizados principalmente na produção de energia elétrica, e apenas uma pequena parte é utilizada na produção de calor, ou seja, a produção térmica da biomassa tem como principal destino a produção de energia elétrica (Tabela 1.3) [13].

Tabela 1.3 - Produção Mensal de eletricidade a partir de biomassa e resíduos [13]

	Produção mensal eletricidade (GWh)											
	2014				2015							
	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Biomassa	204	216	204	182	202	182	205	200	205	209	205	190
c/ cogeração	143	153	147	125	135	118	134	132	138	140	136	121
s/ cogeração	61	63	57	57	67	64	71	68	67	69	69	69
Resíduos Sólidos												
Urbanos	23	51	54	46	52	43	54	38	36	56	57	51
Fração renovável	12	25	27	23	26	22	27	19	18	28	29	25

A nível sectorial os principais consumidores de energia final são os transportes (36%) e a indústria (32%), que representam 68%. Nesta ótica, averigua-se que o sector industrial apresenta grande peso no cenário energético atual do país. Dada a importância deste sector no contexto atual energético é necessário enquadrá-lo. Através de dados estatísticos constantes na DGE, nota-se que a principal fonte de energia final consumida no sector industrial em Portugal é o calor (28%), seguido da eletricidade (27,3%) e do gás natural (18,4%). Os resíduos representam apenas 1,5% do consumo de energia final [11]. Este cenário demonstra que há grande uso de calor no sector industrial e uma valorização energética reduzida dos resíduos gerados, o que revela uma necessidade de estudos e adoção de gestão energética e ambiental

que vise o aproveitamento dos resíduos industriais para produção de energia térmica a ser utilizada localmente nos processos que exigem o uso de calor.

Tal como Portugal, na Europa também existe uma forte dependência energética, pois a produção interna é inferior à energia importada. Segundo dados estatísticos da Eurostat, a dependência energética da união europeia tem aumentado na última década, sendo que no ano de 2004 a dependência era de 50%, e em 2013 ultrapassa os 53%. Esta dependência energética é principalmente de produtos de petróleo, gás natural e combustíveis sólidos e derivados. A dependência de produtos de petróleo na EU-28 representa 87,4% em 2013, com um aumento médio anual desde 2004 na ordem de 1%. O único país da EU-28 em que a exportação de produtos de petróleo é superior à importação é a Dinamarca, mas desde 2004 cada vez mais há uma redução nesta diferença. A percentagem de dependência de produtos de petróleo em 2004 na Dinamarca era de -115.9%, enquanto que em 2013 era de -13.7%, uma redução de mais de 80%. Desde 2004, na EU-28 apenas a Dinamarca apresentava exportação líquida de energia primária, mas desde 2013 este cenário alterou, pelo que atualmente nenhum país da EU-28 apresenta exportação líquida de energia [14].

Comparando a dependência energética de EU-28 de 1990 com o de 2013, verifica-se que houve um aumento na importação líquida de gás natural, produtos de petróleo e combustíveis sólidos (nomeadamente carvão), tendo a importação de gás natural duplicado e a produção de produtos de petróleo reduzido para menos de metade. É de se fazer notar que embora tenha ocorrido o aumento da importação líquida, houve a redução do consumo energético de energias de origem fóssil e um aumento de mais de 50% na produção de energias renováveis, como pode ser visto no Gráfico 1.6 [14].

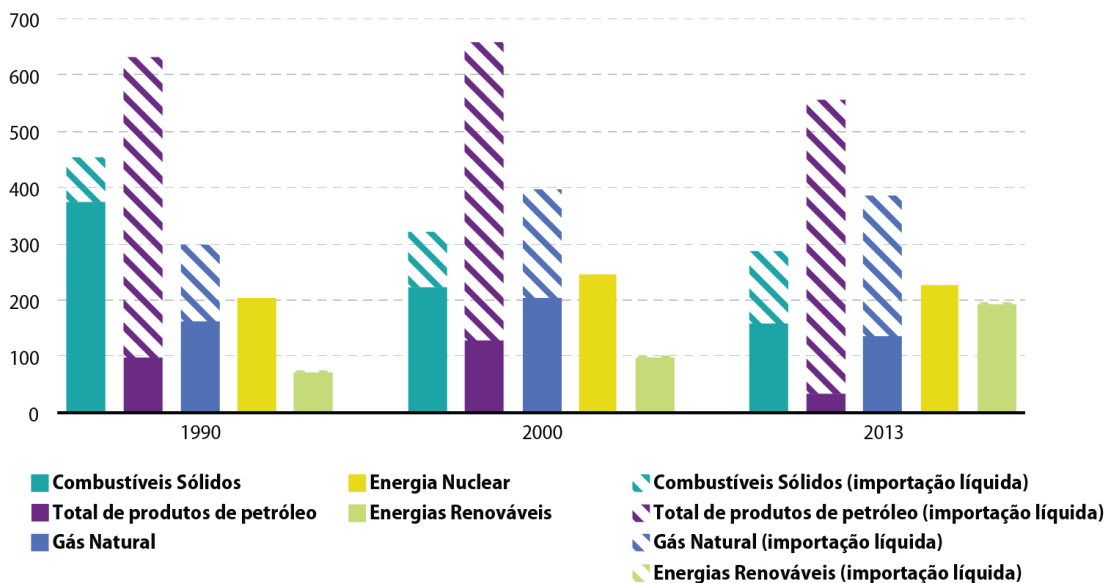


Gráfico 1.6 - Dependência Energética por tipo de combustível, EU-28, 1990, 2000 e 2013 (1000 ktep)

[14]

Mesmo que o cenário dos países da união europeia demonstre o crescimento da dependência energética, pode-se verificar um decréscimo no consumo interno bruto de energia de cerca de 8% de 2004 a 2013, sendo este principalmente a nível de combustíveis sólidos e produtos de petróleo. No entanto há que se fazer notar o crescimento no consumo de energias renováveis, o que é positivo. Entre 1990 a 2013 a produção de energias renováveis cresceu na ordem dos 170%, com uma taxa média de crescimento anual de 4.4%. No entanto este crescimento varia com o tipo de recurso energético, sendo o mais significativo a nível da madeira e biomassa sólida, da energia eólica e energia solar [14].

A título de resumo, o cenário atual mundial demonstra que cada vez mais energia é um pilar na sociedade atual, estando todos os processos associados, direta ou indiretamente, ao uso de energia secundária que por sua vez faz o uso de um recurso energético primário. O constante avanço tecnológico leva com que cada vez mais haja o aumento do consumo energético, o que por sua vez implica aumento na produção energética e impactos ambientais, nomeadamente emissões de CO₂. Cada vez mais se torna mais importante um uso eficiente de energia, pelo que medidas têm sido adotadas de modo a reduzir os impactos do sector energético, o que trará benefícios tanto a nível ambiental, energético e económico, como é o exemplo das medidas regulamentares adotadas pela União Europeia, que já demonstram resultados positivos. Neste sentido é possível verificar uma forte relação entre energia, ambiente e economia.

1.3. Problemática em Estudo

Tendo em conta o exposto no enquadramento temático, verifica-se que a eliminação de resíduos abarca impactos ambientais graves, designadamente, a poluição do ar, água e solos, assim como emissões de gases poluentes para a atmosfera. Infelizmente grande percentagem dos resíduos são destinados a tratamentos de eliminação, nomeadamente, destinados a aterros e a incineração. A disposição em aterro pode levar: lixiviação de substâncias que contaminam os solos, o lençol freático e as águas superficiais; poluição do ar através da libertação de gases nocivos para seres vivos, assim como há a libertação de GEE. A incineração por sua vez produz GEE e as cinzas resultantes podem conter metais pesados e outros compostos tóxicos poluentes. Para além destes impactos ambientais, pode também apresentar um risco para a saúde pública.

No entanto têm sido feitos esforços para incentivar a valorização dos resíduos, pelo que cada vez mais aumenta a fração dos resíduos valorizados, representado grande percentagem das formas de gestão de resíduos. Na valorização dá-se prioridade à recuperação dos materiais, consequentemente, caso não haja a possibilidade uma pequena percentagem são destinados à valorização energética. Nota-se então que a reciclagem dos resíduos está fortemente ligada aos componentes deste e na facilidade de separação dos materiais para recuperação, pelo que

a relação entre benefício e custo deverá ser positiva de forma a maximizar os benefícios económicos e ambientais.

Não só a reciclagem está relacionada com os componentes dos resíduos, mas também a valorização energética está fortemente interligada com a potencialidade energética dos materiais constituintes dos resíduos, assim como com as tecnologias existentes para valorização energética desses recursos e a relação custo-benefício associada a esses processos disponíveis de aplicação. A título de exemplo, um resíduo com um baixo poder energético, se submetido a processos de valorização com elevado custo, e os impactos ambientais desses processos e dos subprodutos forem superiores à simples eliminação desse resíduo, implica que a valorização desse resíduo é economicamente, energeticamente e ambientalmente inviável. No entanto, resíduos com elevado potencial energético e que podem ser facilmente valorizados energeticamente, com o mínimo de impactos ambientais não devem ser destinadas ao aterro, pois evita-se os impactos ambientais da disposição de resíduos em aterros e o desperdício de recursos energéticos. E como pode ser visto no enquadramento temático, a sociedade é cada vez mais dependente de energia, estando os processos sempre associados ao uso e consumo de energia para o seu bom funcionamento. Esta dependência e tendência de aumento do consumo energético, implica o uso de energias secundárias que por sua vez fazem o uso de energias primárias, com principal destaque a recursos fósseis, que por sua vez não são infundáveis, levando a escassez desses recursos naturais. Para além do problema da escassez dos recursos fósseis existe a problemática dos elevados impactos ambientais associados à sua utilização. Verifica-se que existe a necessidade do máximo aproveitamento dos recursos disponíveis nos resíduos, de modo a que haja o máximo de benefícios e o mínimo de impactos ambientais. Neste sentido o problema da investigação pode ser formulado por uma questão:

É possível a aplicação dos resíduos como um recurso energético alternativo aos recursos fósseis de forma a que os benefícios ambientais sejam superiores aos impactos ambientais?

1.4. Objetivos da dissertação

De forma a atender a problemática de estudo a presente dissertação tem como objetivo primordial demonstrar a possibilidade de aproveitar energeticamente resíduos, e os benefícios associados à sua valorização, nomeadamente ambientais. Para que se possa responder ao objetivo principal do presente estudo, a dissertação pretende:

- Caracterizar os resíduos através da sua definição e classificação, assim como apresentar as estratégias da gestão dos mesmos que visem o máximo aproveitamento do recurso que estes têm a oferecer;
- Demonstrar a possibilidade da valorização energética dos resíduos em fim de vida com elevado potencial energético, assim como os benefícios ambientais à sua valorização;

- Demonstrar a possibilidade da valorização energética dos resíduos sólidos industriais ao longo da cadeia do processamento industrial, assim como os benefícios ambientais associados à sua valorização.

1.5. Âmbito e limitação

A impossibilidade de valorização de certos resíduos, tanto industriais como resultantes de produtos em fim de vida é uma problemática partilhada por diversos países, entidades gestoras de resíduos, instalações industriais e empresas. Várias entidades a nível mundial valorizam energeticamente resíduos destinadas ao aterro, contudo esta valorização está fortemente ligada à composição dos resíduos e às técnicas de valorização energética existentes, assim como a relação entre o input e output. Neste sentido, a presente dissertação foca no estudo de casos de valorização energética de resíduos com uma composição atrativa para valorização energética, nomeadamente, pneus em fim de vida, representando resíduos advindos de produtos com o ciclo de vida útil terminado, e resíduos sólidos têxteis gerados durante o processamento têxtil e que devido à variedade da sua composição a recuperação da matéria-prima torna-se economicamente inviável.

1.6. Metodologia da investigação

O objetivo de toda e qualquer investigação é encontrar respostas às questões consideradas importantes pelo investigador, sendo a qualidade de uma investigação determinada pela forma como esta é conduzida e não pelo tipo de estratégia e metodologia utilizada para obtenção das respostas [15].

As metodologias e estratégias de investigação podem ter abordagens quantitativas, qualitativas ou mistas. As diferenças entre estas metodologias está no carácter objetivo e subjetivo, isto é, dedutivo e indutivo. As metodologias quantitativas englobam contar, medir e quantificar as variáveis da pesquisa, enquanto qualitativas enfatizam a perspectiva do indivíduo estudado, ou seja, é principalmente descritivo e inferencial [16]-[18]. As mistas por sua vez têm tanto um carácter dedutivo como indutivo, podendo basear-se tanto em evidências quantitativas como qualitativas, bem como um *mix* destes. Um exemplo concreto é a metodologia de caso de estudo, o qual se destaca de entre as metodologias mistas e é amplamente aplicado em investigações em engenharia de produção, engenharia de gestão industrial, bem como de gestão de operações [16].

O caso de estudo é uma estratégia de investigação que tem por intuito examinar um fenómeno no seu contexto real, num espaço e tempo delimitado, através da recolha e análise de dados, com o intuito de aprofundar e alargar conhecimento científico sobre determinados fenómenos. Os seus resultados não são generalizados como em estudos de carácter estatístico e com um

grande número de participantes e amostra, não obstante as evidências e descobertas não deixam de ser válidas [19].

Tratando-se de uma estratégia mista, logo faz o uso de diversos instrumentos e métodos para a recolha de dados, sendo os principais utilizados a entrevista que tem um carácter qualitativo, observações e análise documental com predominância de dados quantitativos. No caso concreto desta dissertação, há o uso da estratégia de caso de estudo com os dados recolhidos através da análise documental. Este tipo de método consiste na recolha de informações constantes em documentos relevantes para o caso de estudo, sendo uma janela para uma variedade de dados históricos, económicos e entre outros [15], [18], [19].

Neste sentido, a presente dissertação faz o uso da estratégia de caso de estudo, seguindo a seguinte metodologia:

1. Através de uma revisão bibliográfica verifica-se o estado de arte na temática da dissertação, bem como se identifica a literatura de interesse e de carácter significativo para a investigação em causa.
2. Através da análise de relatórios de resultados de entidades gestoras de resíduos são identificados os impactos e benefícios de uma gestão adequada de resíduos, nomeadamente, a valorização energética de pneus em fim de vida.
3. Através da análise de estudos técnico-económicos efetuados anteriormente da valorização energética de resíduos sólidos têxteis industriais, são identificados os impactos, limitações e benefícios da valorização energética destes resíduos para produção de calor a ser utilizada localmente nos processos produtivos.
4. Os dois casos estudados são comparados de modo a identificar semelhanças e disparidades com o intuito de averiguar os benefícios e limitações da valorização energética de resíduos industriais e em fim de vida com elevado potencial energético devido à sua composição.

1.7. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, os quais abordam:

Capítulo 1. Introdução

Este capítulo introduz o leitor ao tópico e fornece um enquadramento e contextualização da problemática de estudo bem como a sua importância. Também é dado a conhecer os objetivos tanto principais e específicos do estudo, o âmbito do estudo, a metodologia a ser aplicada e a estrutura do relatório.

Capítulo 2. Resíduos

Neste capítulo explicam-se o conceito de resíduos e a sua classificação, assim como as estratégias de gestão dos mesmos, desde a prevenção até à sua valorização.

Capítulo 3. Caso de Estudo: Pneus Usados

Este capítulo consiste no caso de estudo da gestão de pneus usados em duas entidades gestoras de pneus, nomeadamente, a Ecopneus e a Aliapur. Através de uma análise documental dos relatórios de resultados destas entidades em 2010, 2013 e 2014, é apresentada os impactos e benefícios da gestão adequada de pneus usados com enfoque na valorização energética dos mesmos.

Capítulo 4. Caso de Estudo: Resíduos Sólidos Têxteis Industriais

Este capítulo consiste no caso de estudo da valorização energética de resíduos sólidos têxteis industriais a ser utilizada localmente nos processos produtivos. Através de uma análise documental é apresentada o estudo técnico-económico da produção de energia térmica através da combustão controlada dos resíduos têxteis com destino ao aterro.

Capítulo 5. Discussão e Conclusão

Neste capítulo os casos apresentados são discutidos de modo a averiguar quais os impactos e benefícios ambientais e económicos da valorização energética. Por fim, sintetiza-se o trabalho apontando quais as conclusões apuradas.

Por sua vez cada capítulo é composto por uma nota introdutória e uma nota conclusiva da mesma, tornando assim o processo de leitura mais fluída.

De modo a tornar a procura das referências mais rápida e para que melhor o leitor as situe, no final de cada capítulo se encontram as respetivas referências de acordo com o estilo de referência IEEE, sendo a numeração reiniciada a cada capítulo. No fim da dissertação encontra-se a lista de toda a bibliografia consultada de acordo com o sistema de referência APA 6th ed. (*American Psychological Association 6th edition*).

No que diz respeito as figuras e tabelas, estas são identificadas com referência ao capítulo em que são apresentadas e, por conseguinte, são numeradas sequencialmente, sendo a numeração constituída pelo número do capítulo e o número da tabela ou figura – ex.: Figura 2.3, onde 2 é concernente ao capítulo 2, e 3 à numeração da figura. É de se fazer notar que tal como a referência, a numeração reinicia quando se transita de capítulo.

1.8. Nota Conclusiva

Em virtude do que foi exposto neste capítulo, averigua-se que os resíduos representam uma fonte de recursos materiais e energéticos, os quais deverão ser geridos adequadamente de

forma a evitar desperdício de recursos e os impactos ambientais da sua eliminação. Existe a necessidade da redução dos impactos ambientais dos resíduos através de medidas preventivas na origem, medidas valorativas que visem a recuperação dos recursos destes, e por fim medidas de eliminação.

Dado o crescimento dos resíduos gerados, esforços e incentivos têm sido feitos para a valorização dos resíduos, o que conseqüentemente têm auxiliado no aumento da fração dos resíduos valorizados, designadamente, a recuperação dos materiais e valorização energética, os quais estão interligados com as características dos resíduos, e devem sempre ponderar a relação existente entre os custos e os benefícios. No entanto com a crescente demanda energética e escassez dos recursos energéticos naturais, há que se criar formas de geração de energia com o mínimo de impactos ambientais e o máximo de eficiência. Neste sentido, os resíduos apresentam ser uma fonte de recurso energético que pode ser considerada renovável, pois qualquer atividade implica a geração de resíduos, logo sempre existirão resíduos.

Referências

- [1] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008,” *J. Of. da União Eur.*, 2008.
- [2] G. Harrison, R. M., Hester, R. E., & Carroll, “Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste - A Literature Review,” 2003.
- [3] Deltaway Energy, “Waste-to-Energy: How It Works.” [Online]. Available: <http://www.deltawayenergy.com/wte-tools/wte-anatomy/>. [Accessed: 27-Jul-2016]
- [4] Eurostat, “Environment,” in *Key figures on Europe 2015*, 2015, pp. 158-160.
- [5] Eurostat, “Waste Statistics,” *Setembro*, 2015. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics. [Accessed: 29-May-2016]
- [6] Eurostat, “Environment indicators,” in *Energy, transport and environment indicators*, 2015, pp. 137-159 [Online]. Available: <https://t.co/4gzno4rWor>
- [7] Eurostat, “Guidance on the interpretation of the term backfilling,” pp. 1-2, 2011.
- [8] Instituto Nacional de Estatística, *Estatísticas dos Resíduos 2014*. 2016 [Online]. Available: <https://t.co/dnFWdsVQin>
- [9] Enerdata, *Energy Statistical Yearbook*. 2015 [Online]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/>
- [10] IEA, “Key Trends in CO2 Emissions. Excerpt from: CO2 Emissions from fuel combustion,” 2015.
- [11] DGEG, “Energia em Portugal,” 2013.
- [12] DGEG, “Balanço energético sintético,” 2014.
- [13] DGEG, “Estatísticas rápidas nº132, Outubro de 2015,” 2015.
- [14] Eurostat, “Energy Indicators,” in *Energy, transport and environment indicators*, 2015, pp. 20-87

[Online]. Available: <https://t.co/4gzno4rWor>

- [15] D. R. Hancock and B. Algozzine, *Doing case study research: A practical guide for beginning researchers*. 2006.
- [16] P. Miguel, A. Fleury, C. H. P. Mello, D. N. Nakano, E. P. de Lima, J. B. Turrioni, L. L. Ho, R. Morabito, R. A. Martins, R. Sousa, S. E. G. da Costa, and V. Pureza, *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*, 2nd ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.
- [17] B. Gillham, *Case study research methods*. 2000.
- [18] A. J. Mills, G. Durepos, and E. Wiebe, Eds., *Encyclopedia of Case Study Research*. SAGE Publications, 2010.
- [19] R. K. Yin, *Case Study Research : Design and Methods*, 3rd ed., vol. 5. SAGE Publications, 2003.

Capítulo 2

2. Resíduos

2.1. Nota Introdutória

Os resíduos são um dos maiores problemas da atualidade, pois para além de representarem um desperdício de recursos, a sua má gestão pode levar a impactos graves para o ambiente e a saúde. Uma gestão adequada de resíduos deve ter em conta as características e propriedades das substâncias dos resíduos, e tomar medidas que reduzam ao máximo os impactos, e que melhor se adequem a esse resíduo. Nesta perspetiva, o presente capítulo tem por objetivo apresentar e levar à compreensão dos conceitos relacionados com os resíduos, assim como as diferentes formas da sua classificação, nomeadamente, quanto à perigosidade e natureza/origem. Também é apresentada a hierarquia da gestão de resíduos, a qual consiste em priorizar medidas preventivas para evitar e reduzir os resíduos, e estender o tempo de vida útil dos produtos. Na impossibilidade do reaproveitamento, medidas para recuperação dos materiais deverão ser consideradas, isto é, a reciclagem. Somente quando já não seja possível recuperar os materiais, deverá priorizar-se outros tipos de valorização, principalmente, a recuperação do conteúdo energético dos resíduos (valorização energética). E por fim, no último patamar da hierarquia há a eliminação, o qual deverá ser de forma consciente e com o mínimo de impactos possível.

2.2. Os Resíduos e suas classificações

2.2.1. Definição

É importante compreender e definir resíduos, pois permite classificar que substâncias e objetos são resíduos, bem como formular políticas adequadas da Gestão de Resíduos e aplicar medidas de controlo dos impactos e para proteção ambiental e da saúde das populações [1]. Assim, tendo em conta o contexto legal atual, nomeadamente a Diretiva 2008/98/CE, transposto para a legislação Portuguesa pelo Decreto-lei 73/2011, o qual altera o Decreto-lei 178/2006, entende-se por Resíduos como qualquer substância ou objeto que o detentor descarta ou tem o intuito ou obrigação de descartar [2]-[4].

Sendo o resíduo algo de que o detentor se desfaz, logo, mesmo que seja dada a outra entidade para reutilização ou reciclagem, ainda será legalmente considerada como resíduo, pois foi descartado e considerado inútil pelo seu gerador. Neste sentido, uma substância ou objeto torna-se resíduo a partir do momento em que é descartada, conceito que engloba não só se

desfazer da substância ou objeto, mas também as atividades e operações de reciclagem e valorização [1], [5]-[8], o que não significa que uma substância submetida a operações de valorização/eliminação é resíduo *per se*, mas pode ser considerado como evidência de ser resíduo [8]. No entanto, segundo a Diretiva 2008/98/CE, determinados resíduos específicos deixam de ser resíduos quando tenham sido submetidos a operações de valorização (incluindo reciclagem) e satisfaçam os seguintes critérios [2]:

1. A substância ou objeto ser habitualmente utilizado para fins específicos;
2. Existir um mercado ou procura para essa substância ou objeto;
3. A substância ou objeto satisfazer os requisitos técnicos para os fins específicos e respeitar as respetivas legislações e normas aplicáveis aos produtos; e
4. A utilização da substância ou objeto não abarcar globalmente impactos negativos para o ambiente e a saúde humana.

Nota-se então que um material considerado resíduo alcança o fim de estatuto de resíduo desde que tenha sido convertido num produto distinto e comercializável, e se a substância processada possa ser utilizada da mesma forma que um não-resíduo e o seu armazenamento e utilização não tenha impactos ambientais superiores ao material que substitui [7], [9], [10]. Como exemplos práticos considera-se: os pavimentos de granulados de pneus usados, o que representa a transformação do resíduo num novo produto; o material plástico reciclado de embalagens aplicado na produção de produtos plásticos, o qual é um novo produto diferente da do resíduo; biocombustíveis de resíduos de madeira (*pellet* de madeira), o qual é a transformação dos resíduos em combustíveis sólidos, com um mercado e procura [7], [9], [11].

Como já visto os resíduos podem deixar de ser resíduos, mas não menos importante é de se referir os resíduos advindos de processos produtivos, os quais nem sempre são residuais. É inevitável a existência de substâncias ou objetos secundários resultantes dos processos produtivos, estes nem sempre são resíduos e podem ser considerados subprodutos e não-resíduos desde que [2], [6], [7]:

- Seja certa a sua posterior utilização;
- Possa ser utilizado diretamente sem qualquer tratamento adicional para além o da prática industrial normal – ex.: os canais de injeção de plástico removidos da peça resultante da injeção que são novamente aplicados no processo produtivo como matéria-prima;
- Seja produzido como parte integrante do processo produtivo; e
- Cumpra todos os requisitos relevantes do produto a nível ambiental e de proteção da saúde humana.

Tendo em conta o exposto, verifica-se que os resíduos são substâncias descartadas, os quais representam um desperdício de recursos e demonstram ineficiência tanto dos processos no caso

de resíduos advindos de atividades econômicas, e no caso de resíduos urbanos demonstra ineficiência da utilização dos produtos. Assim como os resíduos, os subprodutos e estatuto de fim de resíduo resultam da ineficiência, todavia estes visam aumentar o tempo de vida útil dos materiais e substâncias que os constituem através do aumento das suas potenciais aplicações.

2.2.2. Classificação

A classificação dos resíduos gerados numa determinada atividade é a primeira etapa para formulação e estruturação de uma estratégia e plano de gestão adequada, com o mínimo de impactos ambientais e à saúde. A partir da classificação será possível definir as etapas para a recolha, armazenamento, transporte, manipulação, tratamento e destino final, de acordo com o tipo de resíduo [12]. Para que se adote o melhor plano há que se saber não só a origem dos resíduos, mas também as suas características e os efeitos desses componentes na contaminação e poluição do ambiente. Nesta ótica é possível identificar duas formas de classificação dos resíduos, sendo estas quanto à sua perigosidade e sua origem [13].

2.2.2.1. Classificação dos resíduos quanto à perigosidade

Os resíduos gerados a partir de processos produtivos industriais, processos e produção e distribuição de utilidades, assim como os urbanos podem ser classificados quanto às suas características e propriedades físico-químicas, sendo separadas em três categorias diferentes: resíduos inertes, perigosos e não perigosos [12]-[14].

Resíduos inertes são resíduos que apresentam características inertes, ou seja, física, química e biologicamente não reativos. Uma definição mais completa é a apresentada no Decreto-lei 178/2006, alterado pelo Decreto-lei 73/2011 [3]:

[...] resíduo que não sofre transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reação física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afetar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana, e cujos lixiviabilidade total, conteúdo poluente e ecotoxicidade do lixiviado são insignificantes e, em especial, não põem em perigo a qualidade das águas superficiais e ou subterrâneas;

Resíduos perigosos são os resíduos cujas características e propriedades físicas, químicas e biológicas apresentem um risco ao meio ambiente e/ou à saúde pública, isto é, são os resíduos que apresentam uma ou mais características de perigosidade à saúde e ao ambiente, nomeadamente, inflamabilidade, combustibilidade, irritabilidade, nocividade, toxicidade, cancerogenicidade, corrosividade, mutagenicidade, e entre outros relacionados com os referidos, constantes no Anexo III da Diretiva 2008/98/CE, e presentes na tabela 2.1 [2]-[4], [15], [16].

Tabela 2.1 - Características dos Resíduos que os tornam perigosos de acordo com Anexo III da Diretiva 2008/98/CE [2]

Características de perigosidade	
Explosivo	Substâncias e preparações que podem explodir sob o efeito de uma chama ou ser mais sensíveis ao choque e fricção do que dinitrobenzeno.
Comburente	Substância e preparações que em contacto com outras substâncias, particularmente com substâncias inflamáveis, apresentam uma reação fortemente exotérmica.
Facilmente inflamável	Substâncias e preparações em que no estado líquido o ponto de inflamação é $< 21^{\circ}\text{C}$ (incluindo os líquidos extremamente inflamáveis); ou substâncias que em contacto com o ar a uma temperatura normal, sem qualquer emprego de energia, podem aquecer até o ponto de inflamação; ou também as substâncias que no estado sólido podem inflamar facilmente por breve contacto com uma fonte de inflamação e que continuam a arder ou consumir-se mesmo após a retirada da fonte de inflamação; ou as substâncias e preparações gasosas inflamáveis em contacto com o ar à pressão normal; ou ainda as substâncias que em contacto com água ou ar húmido libertam gases facilmente inflamáveis em quantidades perigosas.
Inflamável	Substâncias e preparações líquidas cujo ponto de inflamação é $\geq 21^{\circ}\text{C}$ e $\leq 55^{\circ}\text{C}$.
Irritante	Substâncias e preparações não corrosivas que, por contacto imediato, prolongado ou repetido com a pele ou as mucosas, podem provocar uma reação inflamatória.
Nocivo	Substâncias e preparações cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea pode representar um risco, limitado, para a saúde.
Tóxico	Substâncias e preparações (incluindo as muito tóxicas) cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea pode representar um risco grave, agudo ou crónico para a saúde e inclusivamente causar a morte.
Cancerígeno	Substâncias e preparações cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea pode provocar cancro ou aumentar a sua ocorrência.
Corrosivo	Substâncias e preparações que podem destruir tecidos vivos por contacto.
Infecioso	Substâncias e preparações que contêm microrganismos viáveis ou suas toxinas, em relação aos quais se sabe ou há boas razões para crer que causam doenças nos seres humanos ou noutros organismos vivos.
Tóxico para a reprodução	Substâncias e preparações cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea pode induzir malformações congénitas não-hereditárias ou aumentar a sua ocorrência.
Mutagénico	Substâncias e preparações cuja inalação, ingestão ou penetração cutânea pode induzir defeitos genéticos hereditários ou aumentar a sua ocorrência.
Libertação de gases tóxicos	Resíduos que, em contacto com a água, o ar ou um ácido, libertam gases tóxicos ou muito tóxicos.
Sensibilizante	Substâncias e preparações cuja inalação ou penetração cutânea pode causar uma reação de hipersensibilização tal que uma exposição posterior à substância ou à preparação produza efeitos nefastos característicos.
Ecotóxico	Resíduos que representam ou podem representar um risco imediato ou diferido para um ou vários sectores do ambiente.
Libertação substâncias perigosas	Resíduos suscetíveis de, após a sua eliminação, darem origem, por qualquer meio, a outra substância, por exemplo um lixiviado, que possua uma das características de perigosidade referidos acima.

Resíduos não perigosos são todos os resíduos não inertes e não perigosos, ou seja, todos os resíduos que não se enquadram no plano dos resíduos inertes e nem nos perigosos. Estes resíduos podem manifestar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade, o que não implica não abarcarem riscos à saúde pública e ambiente advindos da sua degradação [12]-[14].

2.2.2.2. Classificação dos resíduos quanto à origem

Para além da classificação dos resíduos quanto às suas características de perigosidade, estas podem ser classificadas quanto à sua origem e natureza. Neste sentido, tendo em conta a Decisão 2014/955/EU, relativa à Lista Europeia de Resíduos (LER), os resíduos podem ser classificados em vinte grupos, os quais subdividem-se em demais grupos conforme os processos que englobam, e são apresentados na tabela 2.2 [16].

Tabela 2.2 - Classificação dos resíduos pela origem e natureza de acordo com a Lista Europeia de Resíduos [16]

01	Resíduos da prospeção e exploração de minas e pedreiras, bem como da preparação e de outros tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas
02	Resíduos da agricultura, horticultura, aquacultura, silvicultura, caça e pesca, bem como da preparação e do processamento de produtos alimentares
03	Resíduos do processamento de madeira e do fabrico de painéis, mobiliário, pasta para papel, papel e cartão
04	Resíduos da indústria do couro e produtos de couro e da indústria têxtil
05	Resíduos da refinação de petróleo, da purificação de gás natural e do tratamento pirolítico de carvão
06	Resíduos de processos químicos inorgânicos
07	Resíduos de processos químicos orgânicos
08	Resíduos do fabrico, formulação, distribuição e utilização (FFDU) de revestimentos (tintas, vernizes e esmaltes vítreos), colas, vedantes e tintas de impressão
09	Resíduos da indústria fotográfica
10	Resíduos de processos térmicos
11	Resíduos de tratamentos químicos de superfície e de revestimentos de metais e de outros materiais; resíduos da hidrometalurgia de metais não ferrosos
12	Resíduos da moldagem e do tratamento físico e mecânico de superfície de metais e plásticos
13	Óleos usados e resíduos de combustíveis líquidos (exceto óleos alimentares, 05 e 12)
14	Resíduos de solventes, fluidos de refrigeração e gases propulsores orgânicos (exceto 07 e 08)
15	Resíduos de embalagens; absorventes, panos de limpeza, materiais filtrantes e vestuário de proteção sem outras especificações
16	Resíduos não especificados noutros capítulos da lista: veículos em fim de vida e os resíduos provenientes desses veículos da manutenção de veículos; equipamentos elétricos e eletrónicos; produtos não utilizados; resíduos explosivos; gases em recipientes sob pressão e produtos químicos fora de uso; pilhas e acumuladores; resíduos de limpeza; catalisadores usados; etc.
17	Resíduos de construção e de demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados)
18	Resíduos da prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou animais e/ou de investigação relacionada
19	Resíduos de instalações de gestão de resíduos, de estações <i>ex situ</i> de tratamento de águas residuais e da preparação de água para consumo humano e de água para consumo industrial
20	Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, da indústria e dos serviços), incluindo as frações recolhidas seletivamente

2.3. Gestão de Resíduos

Qualquer sistema, por mais eficiente que seja, terá sempre entropia, assim como qualquer atividade humana irá sempre ter a geração de resíduos. Sendo assim, o ideal é reduzir o máximo possível a geração dos resíduos, e para isso há que se adotar planos de gestão de resíduos que sigam uma hierarquia que prioriza, principalmente, a prevenção e redução, a fim de reduzir os desperdícios e, por conseguinte, a taxa de resíduos gerados. Neste sentido, a fim de reduzir e evitar problemas ambientais e para a saúde advindos da gestão inadequada dos resíduos, há que se focar primeiramente na prevenção e redução, o qual consiste, essencialmente, em medidas que visem, de uma forma económica e tecnicamente viável, evitar a geração e diminuir a quantidade e/ou perigosidade dos resíduos. Quando não seja possível, deve-se reutilizar, na impossibilidade desta deve-se priorizar a valorização, nomeadamente, a reciclagem. Somente quando não houver a possibilidade de valorização dos materiais, é que se deve adotar outros tipos de valorização. Em último cenário os resíduos deverão ser eliminados de forma consciente, tendo em conta a proteção do ambiente e a saúde pública [2]-[4], [13] (Figura 2.1).

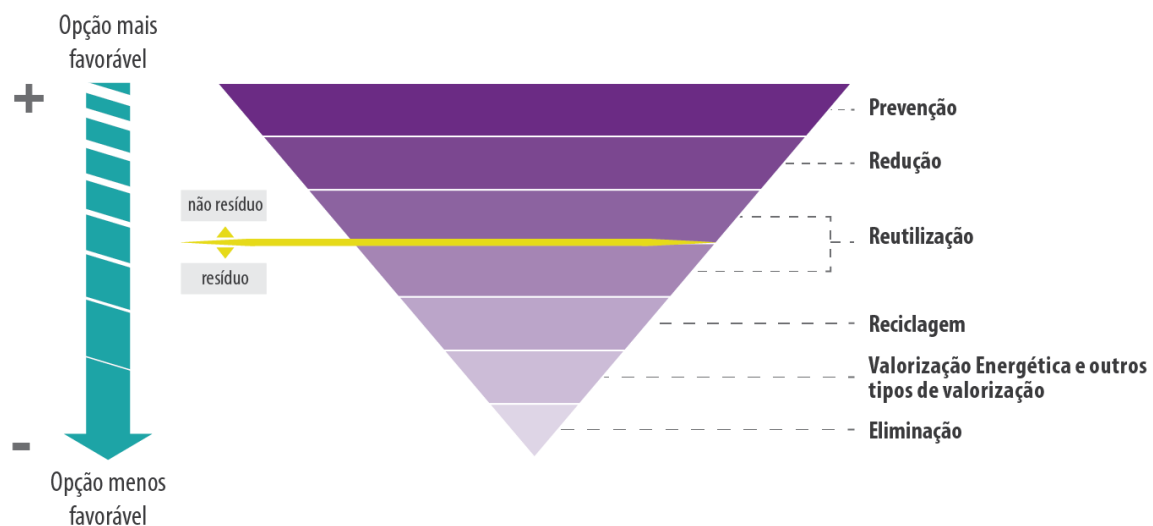


Figura 2.1 - Hierarquia da Gestão de Resíduos [2]-[5], [8], [17].

2.3.1. Prevenção, Redução e Reutilização

De acordo com a Diretiva Quadro dos Resíduos (Diretiva 2008/98/CE), a prevenção de resíduos consiste nas “medidas tomadas antes de uma substância, material ou produto se ter transformado em resíduo, destinadas a reduzir: a quantidade de resíduos, (...) através da reutilização (...) ou prolongamento do tempo de via útil dos produtos (...); os impactos adversos no ambiente e na saúde humana; (...) ou o teor de substâncias nocivas” [2]. A Prevenção de Resíduos significa então reduzir a quantidade, a nocividade e impactos ambientais dos resíduos gerados. Neste sentido, verifica-se que a prevenção de resíduos engloba evitar a geração de

resíduos, a redução quantitativa e qualitativa dos resíduos, e a reutilização de produtos (Figura 2.1) [18].

Evitar a geração de resíduos, como já indica, consiste na não produção de resíduos através da adoção de duas atitudes: repensar/racionalizar e recusar [13]. Repensar e Racionalizar pressupõe analisar toda a cadeia dos processos e ciclo de vida de modo a encontrar aspetos que possam ser melhorados, ou até mesmo redesenhados, com objetivo de evitar que uma substância, material ou objeto se torne parcial ou completamente num resíduo. Por outras palavras, é adotar medidas que visem aumentar a eficiência dos processos, aumentar os rendimentos e reduzir os custos e impactos negativos. Exemplos práticos são: a mudança de comportamentos, como no caso de uma indústria a melhoria da comunicação entre colaboradores e secções, assim como evitar comportamentos negligenciais que levam a geração de resíduos [13]; remover ou substituir a demanda existente por substâncias nocivas para o ambiente para substâncias amigas do ambiente ou menos nocivas, com o mesmo resultado que as anteriores; substituição de fontes não-renováveis com renováveis ou parcialmente renováveis [17]; outras situações mais complexas pode ser repensar o processo em si e as tecnologias utilizadas de modo a aumentar a eficiência e reduzir qualquer desperdício ao máximo. Recusar por sua vez, consiste na capacidade de rejeitar todas e quaisquer matérias-primas, matérias subsidiárias, produtos, processos e tecnologias que causem danos para o ambiente e a saúde, assim como induzam à geração de mais resíduos do que o normal e necessário [13].

Em relação à redução dos resíduos, pode ser tanto a nível quantitativo ou qualitativo. A vertente quantitativa abarca todas as medidas que objetivam reduzir a quantidade e a variedade dos resíduos gerados, enquanto a qualitativa diz respeito à redução do índice de substâncias e materiais nocivos nos produtos [8]. Neste sentido, a redução abrange todas as medidas tomadas antes da substância ou objeto tornar-se num resíduo que objetivam reduzir tanto a quantidade como a perigosidade dos resíduos gerados. Exemplos de medidas adotadas são: projetar os produtos de modo a que tenham uma maior longevidade; racionalizar a utilização de recursos, sem colocar em causa o bom funcionamento do sistema; utilizar menos materiais por unidade; reduzir os desperdícios dos processos; otimizar os processos, etc. Evitar e reduzir são conceitos interligados, pois ao tomar medidas de racionalização e otimização indiretamente, para além de evitar possíveis resíduos, reduz-se também os atuais resíduos gerados.

Para além de evitar e reduzir os resíduos, a prevenção engloba a reutilização, o qual, segundo a Diretiva 2008/98/CE e o Decreto-lei 178/2006, republicado pelo Decreto-lei 73/2011, consiste em *“qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos”* [2]-[4]. Embora a definição constante da diretiva exclua a utilização dos produtos/componentes para outros fins, o conceito lato de reutilização envolve a utilização de um produto usado inúmeras vezes,

independentemente de ser ou não a mesma função [17]. No entanto esta mesma diretiva aborda o conceito de “Preparação para reutilização”, definida como “operações de valorização que consistem no controlo, limpeza ou reparação, mediante as quais os produtos ou os componentes de produtos que se tenham tornado resíduos são preparados para serem reutilizados, sem qualquer outro tipo de pré-processamento” [2]. Neste sentido a definição de reutilização é qualquer operação de recuperação no qual uma substância, material ou objeto usado é utilizado novamente em parte ou na totalidade para a mesma ou diferente finalidade para qual foi concebida, com ou sem qualquer outra operação adicional [17]. De uma forma mais simplificada, reutilizar significa atribuir ao objeto, produto, substância ou material que seria descartado a mesma ou uma nova função, prolongando assim a sua vida útil através de sujeição a conserto, restauração e/ou reaproveitamento [19]. Alguns exemplos de reutilização são: a utilização de recipientes de plástico como vasos; reutilização de pneus usados como proteção de molhes marítimos; garrafas de vidro de refrigerantes devolvidas à fábrica de engarrafamento para reutilização para a mesma finalidade, etc. A reutilização pode ser aplicação direta sem qualquer operação, ou limpeza e reutilização, reparação e reutilização, reacondicionamento e reutilização, renovação e reutilização, e entre outros [17].

Nota-se então que a prevenção, redução e reutilização são ações de carácter preventivo que visam: evitar a geração de resíduos através de medidas de racionalização e otimização do funcionamento do sistema, assim como eliminação de desperdícios; reduzir/minimizar a quantidade e perigosidade dos resíduos gerados mediante a otimização dos processos, uso do mínimo de recursos, substituição de substâncias nocivas para menos ou não nocivas, e entre outras; e por fim prolongar o tempo de vida útil dos produtos, objetos, substâncias e materiais através do reuso e aproveitamento para nova utilização.

2.3.2. Valorização

A gestão de resíduos deverá sempre priorizar medidas preventivas, no entanto estas medidas não eliminam a possibilidade e a existência de resíduos, pois é inevitável. Assim sendo, os resíduos deverão ser valorizados, em último caso eliminados. Por valorização compreende-se por qualquer processo que recupere ou extraia os materiais ou o conteúdo energético dos resíduos [5], ou seja, é dar valor ao que já não tem valor. Uma definição mais completa é a constante da Diretiva 2008/98/CE [2]:

[...] qualquer operação cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico, ou a preparação dos resíduos para esse fim, na instalação ou no conjunto da economia.

Por outras palavras a valorização será qualquer medida tomada após uma substância, objeto ou material se tenha tornado em resíduo, com o principal intuito de substituir fontes de matéria virgem, o qual engloba operações de reutilização, reciclagem, valorização energética e outros

tipos de valorização [8], [17]. É de se fazer notar que a reutilização tem um carácter tanto preventivo como de valorização, é preventivo no sentido de prolongar o tempo de vida útil de um produto, evitando e reduzindo a geração de resíduos, e é valorativo a nível do prolongamento da vida útil de um produto e/ou recuperação de um resíduo mediante operações de limpeza, consertos, reaproveitamento, reacondicionamento, renovação, e entre outros que permitam utilizar ao máximo o produto, objeto, substância ou material, ou seja, através de alterações não significativas de recuperação há reintrodução de substâncias, objetos ou produtos nos circuitos de produção e/ou de consumo [2], [3], [13], [17]. Na tabela 2.3 são apresentados alguns exemplos de operações de valorização constantes da Diretiva 2008/98/CE e do Decreto-lei 73/2011.

Tabela 2.3 - Operações de Valorização incluídas no Anexo II da Diretiva 2008/98/CE e do Decreto-lei 73/2011 [2], [4]

Operações de Valorização

Utilização principal como combustível ou outro meio de produção de energia.

Recuperação/regeneração de solventes.

Reciclagem/recuperação: de substâncias orgânicas não utilizadas como solventes (incluindo compostagem e outros processos de transformação biológica); de metais e compostos metálicos; de outros materiais inorgânicos.

Regeneração de ácidos ou bases.

Valorização de componentes utilizados na redução da poluição, e de componentes de catalisadores.

Refinação de óleos e outras reutilizações de óleos.

Tratamento do solo para benefício agrícola ou melhoramento ambiental.

Utilização de resíduos obtidos a partir de qualquer uma das operações de valorização.

2.3.2.1. Reciclagem

Antes de definir a reciclagem, se se observar a palavra constata-se que é derivada por sufixação e prefixação, onde o radical é a palavra ciclo (série de eventos), o prefixo *re-* que significa repetir, e o sufixo *-agem* que demonstra uma ação. Com esta simples análise é possível definir reciclagem como a ação de repetir o ciclo, e no caso concreto dos resíduos será então reintroduzir o material dos resíduos no ciclo de vida de um produto. Por outras palavras, reciclagem é qualquer operação ou um conjunto de processos (físicos, químicos e/ou biológicos) para transformação dos materiais recuperados e extraídos dos resíduos em novos produtos, materiais ou substâncias com a finalidade original ou outros fins – ciclo de reciclagem fechado e aberto, respetivamente (Figura 2.2) [2], [3], [5], [8]. De uma forma simplificada, é o reprocessamento de resíduos que não podem ser reutilizados, em que a consequência principal é a transformação de resíduos em matéria-prima de valor equivalente, superior ou inferior ao original [17]. É de se salientar que reciclagem não inclui a valorização energética e o reprocessamento de materiais a serem utilizados como combustível (combustível derivado de resíduos) ou em operações de enchimento (*backfilling*), mas engloba o reprocessamento de materiais tanto orgânicos como não orgânicos [2], [8], [17].

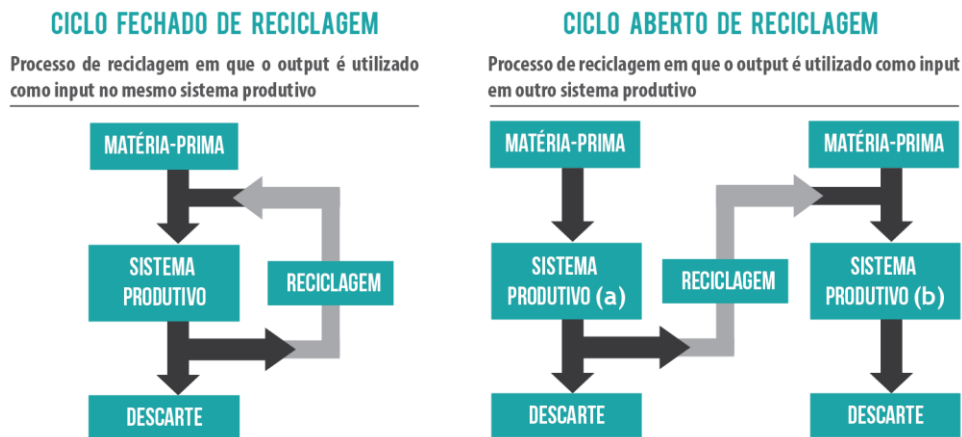


Figura 2.2 - Ciclos de Reciclagem [5], [20].

No que concerne aos efeitos da reciclagem, esta apresenta tanto benefícios como limitações. A reciclagem permite aproveitar os recursos existentes nos resíduos, levando a que os resíduos alcancem o fim de estatuto de resíduo. Os materiais obtidos dos resíduos substituem matéria-prima natural, implicando assim a conservação dos recursos naturais e redução do consumo energético, pois a extração de matéria-prima virgem exige um maior esforço e consumo energético. Para além disso, a reciclagem reduz a quantidade de resíduos a serem eliminados e destinados ao aterro, o que terá por consequência a redução dos impactos advindos dos aterros. Não só apresenta vantagens a nível ambiental, mas também a nível económico, pois permite a redução dos custos de produção. É de se fazer notar que cada caso é um caso, ou seja, nem sempre é economicamente viável, o que é uma limitação. Ademais, os produtos produzidos de matéria-prima reciclada não garantem a mesma durabilidade e resistência que produtos de material virgem, são normalmente de menor custo e menos eficientes.

Diversos exemplos podem ser encontrados na literatura demonstrando as vantagens e desvantagens da reciclagem. O estudo feito em 2010 por Neto, Chaves e Vendrametto da reciclagem de poliuretano numa empresa de fabricação de borracha demonstra que uma produção mais limpa e reciclagem em ciclo fechado permitiu conservação de material natural, assim como a redução dos custos e aumento do lucro, e por cada unidade monetária economizada não foi utilizada 0,22Kg de matéria-prima natural. Este mesmo estudo também demonstrou que a reciclagem de poliuretano trouxe uma grande vantagem económica, permitindo que o investimento em equipamentos de reciclagem fosse recuperado em apenas um ano e dois meses [21]. Outro exemplo das vantagens ambientais é o estudo comparativo entre papel virgem versus reciclado do projeto RePaperProject, no qual a percentagem de poupança ambiental por conteúdo reciclado é de pelo menos 30%. O papel reciclado evita o uso de árvores, assim como consome menos energia, cerca de 33% menos do que o papel virgem, tem uma emissão de gases GEE 37% inferior, gera 49% menos efluentes e águas residuais do que o papel virgem [22]. No que concerne aos casos em que a reciclagem é inviável, um exemplo são resíduos têxteis industriais compostos por uma grande variedade de tipos de fibras, o que

leva a que a reciclagem seja inexecutável, pois implica elevado uso e consumo energético, poluição, e reduzido retorno financeiro, com uma relação custo-benefício negativa [23]. Neste sentido, nota-se que a reciclagem é considerada uma opção viável, se e somente se os benefícios forem superiores aos impactos, e haja a maximização tanto dos benefícios ambientais como económicos. Caso não seja ambiental e economicamente eficiente, deverá considerar-se outras formas de valorização dos resíduos, e apenas em último caso a eliminação.

2.3.2.2. Valorização energética e outros tipos de valorização

Tendo em conta a hierarquia dos resíduos, apenas na impossibilidade da reciclagem é que os resíduos deverão ser submetidos a outros processos e medidas de valorização, ou seja, qualquer substância, material ou objeto o qual se tornou resíduo e não possa ser reutilizado, reprocessado ou reciclado deverá ser processado de forma a recuperar o conteúdo energético e/ou transformado em outros materiais ou substâncias a serem utilizados como combustíveis ou em operações de *backfilling* (expressão anglo-saxónica para enchimento) [17]. Por sua vez entende-se por valorização energética a partir de resíduos como a conversão de resíduos não-recicláveis em energia, nomeadamente, calor, eletricidade e combustíveis, através de uma vasta variedade de processos, dos quais se destacam a combustão (incineração), gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica (biogaseificação ou biometanização) [24], os quais são definidos na tabela 2.4. Quanto ao *backfilling* ou enchimento, segundo a Decisão da Comissão 2011/753/EU, consiste em “qualquer operação de valorização através da qual os resíduos apropriados são utilizados para efeitos de recuperação em zonas escavadas ou em obras de engenharia paisagística, bem como nos casos em que os resíduos substituem materiais que não são resíduos” [25].

Tabela 2.4 - Tecnologias e Processos de Valorização Energética de resíduos

Incineração c/ Valorização energética	Destruição dos resíduos por tratamento térmico com recuperação da energia térmica advinda da combustão, o qual é posteriormente convertida em vapor, energia mecânica e por fim em eletricidade [26], [27] .
Coincineração	Processo de tratamento dos resíduos através da combustão controlada destes juntamente com combustíveis em fornos industriais ou outros para a produção de energia térmica a ser utilizada localmente nos processos industriais, ou seja, os resíduos são utilizados como combustíveis alternativos [13], [26] .
Gaseificação	Processo termoquímico onde há a conversão de compostos ricos em carbono em combustíveis gasosos e matéria-prima química útil através da reação do material a altas temperaturas, sem combustão, em ambiente redutivo (deficiente em oxigénio). Este processo difere da combustão a nível do ambiente deficiente em oxigénio e o requerimento de calor, sendo que na combustão é o contrário, liberta-se calor e realizasse num ambiente oxidante [28].
Pirólise/ Termólise	Decomposição térmica de resíduos na ausência ou com quantidade reduzida de oxigénio (atmosfera inerte ou vácuo). Este processo tem por objetivo quebrar as ligações químicas de modo a que se obtenham combustíveis gasosos e matéria-prima química líquida e sólida, o qual pode ser combustível ou matéria-prima [28], [29].
Digestão anaeróbica/ biogaseificação / biometanização	Digestão de resíduos por via anaeróbica (decomposição na ausência de oxigénio), sendo o produto resultante dióxido de carbono (CO ₂) e Metano (CH ₄), componentes principais do biogás, o qual pode ser utilizado como combustível [13].

Relativamente aos impactos da valorização energética de resíduos, esta apresenta tanto benefícios como limitações, os quais dependem de diversos fatores, como o tipo de resíduo, as tecnologias existentes, a relação entre os custos e os benefícios, e entre outros. De um modo geral, os principais benefícios da valorização energética são: o aproveitamento do conteúdo energético dos resíduos levando com que haja poupança dos recursos energéticos naturais e a redução do uso e consumo de combustíveis fósseis; evitam-se as emissões advindas da extração, tratamento e transporte dos recursos energéticos fósseis; na maioria dos casos as emissões dos combustíveis derivados dos resíduos (CDR) são inferiores aos dos combustíveis fósseis, o que implica uma redução das emissões; diminuição da quantidade e volume de resíduos destinadas ao aterro, o que por sua vez leva com que haja redução dos impactos negativos advindos dos aterros; tanto para o sector industrial como outro sector a valorização energética dos resíduos leva com que haja um uso mais eficiente dos recursos existentes, aumentando a eficiência do sistema; a valorização energética de resíduos dentro do sistema gerador tem por consequência o aumento da sustentabilidade e eficiência do sistema, assim como reduz os custos do consumo de recursos energéticos fósseis; e dependendo da tecnologia utilizada, a valorização energética pode ser o destino final dos resíduos, nomeadamente, a valorização por meio de combustão [13], [24], [30]-[33].

Um exemplo interessante dos benefícios da valorização energética de resíduos é o estudo relativo ao valor energético e económico dos resíduos sólidos urbanos (RSU) destinados aos aterros nos Estados Unidos da América (EUA), conduzido pela Universidade Columbia em 2011 e atualizado em 2014, em que os resultados demonstraram que: cada tonelada de RSU incinerado com valorização energética substitui 0,4 toneladas de carvão; se os RSU destinados a aterro em 2011 nesse país fossem valorizados energeticamente podiam gerar energia elétrica suficiente para 13.8 milhões de casas, e se fosse através da cogeração, seria possível fornecer aquecimento a 9.8 milhões de casas; se RSU fossem utilizados como combustível substituto do carvão, o transporte interno de carvão nos EUA iria reduzir 22%, o que por sua vez reduziria as emissões de GEE advindas do transporte; a eliminação dos RSU em aterros requer anualmente cerca de 25Km² de terreno, o que implica que a sua valorização irá aumentar o tempo de vida dos aterros; e dos 34.4 milhões de toneladas de plásticos não-recicláveis enviados para aterro no ano de 2011 nos EUA continham um conteúdo energético equivalente a 48 milhões de toneladas de carvão ou 180 milhões de barris de petróleo ou um trilhão scf (*standard cubic feet*) de gás natural, ou seja, houve um desperdício de recursos energéticos [32].

Quanto às limitações e desafios da valorização energética estas podem ser variadas, dependendo da tecnologia e do resíduo a ser valorizado, por exemplo os pneus em fim de vida (PFV), a sua valorização por meio da gaseificação ou pirólise ainda se encontra numa fase eminente, e apresenta elevado custo de implementação e do processo em relação ao ganho advindo da venda dos subprodutos, o que o torna economicamente inviável [34], [35]. Por sua vez a valorização energética dos PFV por meio de combustão, em que há a destruição do resíduo,

pode limitar o máximo aproveitamento dos recursos materiais dos resíduos, assim como se o processo e os resíduos resultantes não forem devidamente geridos e controlados existem riscos elevados para o ambiente e a saúde pública, e para além disso a queima incompleta pode levar à libertação de químicos perigosos, como dioxinas e gases ácidos [24]. Neste sentido pode-se verificar que a valorização energética, tal como qualquer processo de valorização deverá ter como foco um balanço positivo entre os benefícios e as limitações e impactos, ou seja, deverá sempre ser económica, ambiental e energeticamente viável e eficiente.

Contrariamente à valorização energética, o *backfilling* tem como foco os resíduos com baixo potencial energético, baixo poder calorífico, e que não lixivem substâncias poluentes, ou seja, resíduos inertes que não podem ser reutilizados ou reciclados. Os resíduos que melhor se adequam para este tipo de operação de valorização serão os provenientes da incineração de resíduos, da construção, demolição e indústria extrativa mineira, tais como cinzas devidamente tratadas, pedras, solo, sedimentos, e entre outros [25], [33], [36], [37]. Na Europa os resíduos das atividades de construção e extração representam mais de 50% dos resíduos gerados [38], [39], pelo que o enchimento é a forma de valorização dos materiais dos resíduos com o mínimo de impactos ambientais, tendo como principal benefício a utilização dos resíduos como matéria-prima, o que implica poupança dos recursos naturais e redução dos impactos advindos da extração desses recursos. A não eliminação destes resíduos em aterros irá não só aproveitar o recurso material assim como aumentar o tempo de vida do aterro, e reduzir o uso de grandes áreas de terreno em aterros. No entanto é de se fazer notar que se deverá priorizar a reutilização e reciclagem, somente quando for inviável é que se deverá valorizar os materiais dos resíduos adequados como enchimento, tendo sempre em consideração a eficiência e viabilidade tanto ambiental como económica.

2.3.3. Eliminação

Segundo a Diretiva 2008/98/CE e o Decreto-lei 178/2006, Eliminação dos resíduos consiste em qualquer operação que não seja de valorização, mesmo que se verifique como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia [2], [3], ou seja, são quaisquer operações que tem como objetivo primordial erradicar o resíduo, podendo ou não ter por consequência secundária benefícios (recuperação), o que não afeta a natureza da operação [7]. De uma forma simplificada, a eliminação é qualquer operação que não se enquadra no âmbito da valorização.

Quanto às operações de eliminação, existem inúmeras como pode ser visto na Tabela 2.5, sendo as de destaque a incineração sem valorização energética e a disposição dos resíduos em aterros. A incineração sem valorização energética consiste na queima controlada dos resíduos com o intuito de destruir os resíduos e seus componentes perigosos, e reduzir o volume dos resíduos tratados. O aterro por sua vez consiste numa instalação de eliminação de resíduos pela disposição destes acima ou abaixo da superfície natural, estando excluídas as instalações para

armazenagem dos resíduos para posterior valorização, tratamento ou eliminação, e as instalações onde os resíduos são descarregados com objetivo da preparação destes para transporte para os respetivos locais de valorização, tratamento ou eliminação [40], [41].

Tabela 2.5 - Operações de Eliminação incluídas no Anexo I da Diretiva 2008/98/CE e do Decreto-lei 73/2011 [2], [4], [8]

Operações de Eliminação
Depósito no solo, em profundidade ou à superfície (ex.: aterros, etc.)
Tratamento no solo (ex.: biodegradação de efluentes líquidos ou de lamas de depuração nos solos, etc.)
Injeção em profundidade (ex.: injeção de resíduos por bombagem em poços, cúpulas salinas ou depósitos naturais, etc.)
Lagunagem (ex.: descarga de resíduos líquidos ou de lamas de depuração em poços, lagos naturais ou artificiais, etc.)
Depósitos subterrâneos especialmente concebidos (ex.: deposição em alinhamentos de células que são seladas e isoladas umas das outras e do ambiente, etc.)
Descarga para massas de água, com exceção dos mares e dos oceanos
Tratamento biológico e/ou físico-químico que produza compostos ou misturas finais rejeitados por meio de qualquer uma das operações anteriores (ex.: evaporação, secagem, calcinação, etc.)
Incineração em terra e no mar

Tanto a incineração como os aterros apresentam efeitos negativos para o ambiente e a saúde pública. No caso da incineração os impactos estão associados aos gases emitidos, às águas residuais do processo, as cinzas volantes emitidas e as escórias resultantes. As principais emissões para atmosfera são: dioxinas e furanos (compostos orgânicos), os quais são altamente tóxicos, contaminantes, persistentes, cancerígenos e acumulam-se nos tecidos de organismos vivos (bioacumulativos); metais pesados, sendo que alguns são tóxicos em baixas concentrações, persistentes e bioacumulativos; partículas minúsculas de matéria suspensas no ar, os quais podem ser inalados afetando a saúde humana, levando ao desenvolvimento de doenças respiratórias; dióxido de carbono (CO₂) que é um gás de efeito de estufa (GEE); monóxido de carbono (CO) que para além de ser um GEE é tóxico, sendo a sua formação devido à combustão incompleta; e gases inorgânicos como os óxidos de nitrogénio (NO_x) e de enxofre (SO_x) e o cloreto de hidrogénio (HCl), os quais são gases ácidos, podendo influenciar o nível de pH da chuva tornando-a ácida, como consequência a chuva ácida têm efeitos prejudiciais na qualidade dos solos e águas, o que por sua vez afetará negativamente o ecossistema [42].

Em relação às águas residuais dos processos de incineração estas são principalmente compostas por metais pesados e outras substâncias poluentes, que se não forem devidamente tratadas podem levar à contaminação dos solos e dos lençóis freáticos [13], [42], [43]. Tal como as emissões para a atmosfera, as cinzas resultantes também apresentam metais pesados e compostos orgânicos, mais concretamente, dioxinas, os quais são tóxicos e podem ser lixiviados das cinzas volantes após depósito nos aterros [42]. No entanto os sistemas atuais de tratamento térmico de resíduos reduzem ao máximo a perigosidade das emissões através da utilização de sistemas de filtragem de gases orgânicos e inorgânicos, e captura de metais pesados, reduzindo

consideravelmente os impactos da incineração. No caso das cinzas ou escórias, os seus recursos materiais são recuperados, os quais são denominados de agregados, que são utilizados na indústria de construção, como enchimentos e entre outros. As cinzas volantes mesmo após todos os sistemas de captura de metais pesados não deixam necessariamente de ser perigosos, pelo que de modo a reduzir os seus impactos estes deverão ser inertizados antes da sua disposição em aterros [13], [27]. É de se fazer notar que a incineração não apresenta apenas efeitos negativos, se o processo for conduzido tendo em vista o mínimo de impactos, com tratamento prévio dos resíduos, uma combustão completa e eficiente, e tratamentos posteriores para redução da perigosidade das emissões e resíduos resultantes, terá efeitos positivos a nível dos aterros, pois há a redução do volume dos resíduos, o que irá implicar o aumento de tempo de vida de um aterro.

No que concerne aos aterros, estes são estruturas construídas acima ou abaixo do solo com o intuito de despejar e isolar os resíduos do ambiente circundante (solo, águas subterrâneas, o ar e a chuva), através da utilização de uma cobertura de solo para a parte superior e um forro de telas impermeabilizáveis para as paredes e o fundo [13], [44] (Figura 2.3). De acordo com a Diretiva 1999/31/CE, de modo a reduzir os riscos de incêndios e lixiviação de substâncias contaminantes, os aterros estão direcionados para o descarte de resíduos sólidos, sendo excluídos os resíduos líquidos, resíduos em que nas condições do aterro sejam explosivos, inflamáveis e corrosivos, resíduos hospitalares e pneus usados (PU) [40], [41]. Quanto aos efluentes ou águas residuais, estes são tratados em ETE (estações de tratamento de efluentes) ou ETAR (estações de tratamento de águas residuais), onde passam por processos físicos, químicos e bioquímicos com o intuito de separar, diminuir ou remover contaminantes e, consequentemente, produzir águas residuais tratadas não perigosas para o ambiente e a saúde pública, as quais podem ser reutilizadas ou escoadas para os corpos hídricos (mar, rios, etc.) [41], [45], [46].

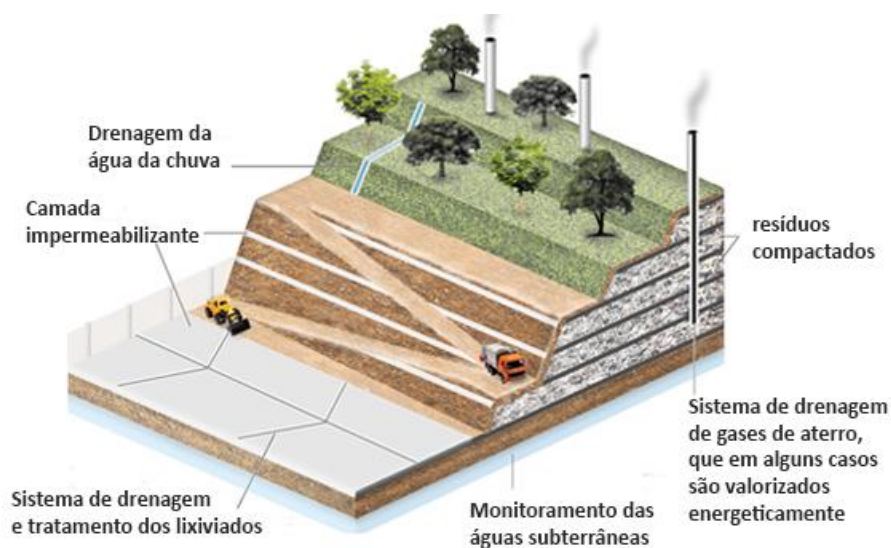


Figura 2.3 - Estrutura de um aterro sanitário (adaptado de Graltec Treinamentos) [47]

Os aterros podem ser divididos em três categorias conforme a perigosidade dos resíduos tratados, sendo estes então aterros para resíduos inertes, perigosos e não perigosos (Tabela 2.6). Cada um destes tipos de aterros apresenta diferentes impactos ambientais, dependendo de como os resíduos se degradam, quais as substâncias emitidas, e entre outros. De um modo geral e resumido, podem-se identificar as seguintes desvantagens da disposição de resíduos em aterros: potencial risco de poluição de recursos hídricos; risco da contaminação dos solos; geração de gases de aterro, i.e., biogás (metano e dióxido de carbono); potencial exposição humana a químicos voláteis; cheiro, pragas e incêndio; destruição de espaços naturais e virgens; é a longo prazo e apresenta um custo intensivo da limpeza, manutenção, reparação e monitorização após-tratamento dos resíduos e encerramento do aterro [48]. Todas estas desvantagens e efeitos negativos dos aterros podem ser contornados se houver um bom planeamento, administração e gestão do aterro em si e de todo o sistema de gestão de resíduos [44].

Tabela 2.6 - Classificação de aterros e os tipos de resíduos aceites de acordo com a Diretiva 1999/31/CE e Decisão do Conselho 2003/33/CE [2], [41], [49]

Classificação dos aterros	Tipos de resíduos
Resíduos Inertes	Resíduos que não sofram transformações físicas, químicas e biológicas significativas, com características não solúveis, não inflamáveis, não biodegradáveis, como por exemplo: os resíduos de materiais fibrosos à base de vidros, vidros, tijolos, materiais cerâmicos, terras e pedras, solos e rochas, etc.
Resíduos Não Perigosos	Resíduos urbanos, os quais são provenientes das habitações privadas e outros que devido à sua natureza e/ou composição sejam semelhantes aos resíduos provenientes das habitações; resíduos não perigosos de qualquer outra origem; e resíduos perigosos estáveis não reativos, com um comportamento lixiviante equivalente aos resíduos não perigosos.
Resíduos Perigosos	Resíduos que apresentem uma ou mais características dos resíduos perigosos conforme a Diretiva 2008/98/CE, isto é, resíduos que sejam explosivos, facilmente inflamáveis, nocivos, tóxicos, corrosivos, infecciosos, irritantes, cancerígenos, mutagénicos, etc.

O problema da formação dos lixiviados – formados pelas águas percoladas através das células e o solo do aterro, e que conforme circulam entre os resíduos contraem contaminantes como químicos orgânicos e inorgânicos, metais, produtos da decomposição de resíduos biológicos, e entre outros, os quais são poluentes perigosos tanto para o ambiente como para a saúde pública – pode ser contornado através de sistemas de recolha de lixiviados. Estes sistemas irão evitar a infiltração dos lixiviados nos solos e lençóis freáticos através da aplicação de telas impermeáveis nas paredes e no fundo do aterro. Por sua vez estas águas percoladas são recolhidas ao longo do aterro por uma rede de drenagem destas águas, as quais são conduzidas para as estações de tratamento de águas lixiviantes (ETAL) [13], [44]. É de se fazer notar que com o passar do tempo as tubagens do sistema podem ficar obstruídas com as partículas sólidas do lixiviado, e podem ser enfraquecidas pelos ataques dos químicos do lixiviado, levando com que se partam e conseqüentemente haja a contaminação do ambiente circundante, pelo que a manutenção do aterro, mesmo após encerramento, é crucial [44].

Outro problema que ocorre ao longo da vida dos aterros é a geração de gases de aterro (biogás) devido à decomposição dos resíduos orgânicos, que consiste em três etapas: primeiramente, logo após a disposição dos resíduos no aterro enquanto há a presença de oxigênio nos resíduos, ocorre a decomposição aeróbica, em que o resíduo reage com o oxigênio, formando dióxido de carbono, água e calor; no segundo estágio o qual é anóxica e não metanogênica, os microrganismos na ausência de oxigênio quebram as ligações dos resíduos em hidrogênio, amônia, dióxido de carbono e ácidos inorgânicos; e por fim, na terceira etapa, a fase metanogênica e da decomposição anaeróbica, há a produção do gás metano. O resultado final será um gás com partes equivalentes de dióxido de carbono e metano, o biogás, o qual pode ser utilizado como fonte de energia. Os gases de aterro são compostos então por metano, CO₂ e compostos orgânicos. O metano e o dióxido de carbono são GEE, e a presença de metano nos gases de aterro leva com que seja inflamável, tendo risco de explosões. O gás de aterro apresenta elevado poder calorífico (em torno dos 4500 kcal/m³), o que o torna atrativa para valorização energética [44], [50]. A recuperação dos gases de aterros e a sua subsequente valorização energética terá benefícios significativos, sendo estes: evitar a emissão de metano para a atmosfera, e conseqüentemente reduzir as emissões de GEE; melhoria da qualidade do ar do local; redução dos odores dos aterros; melhorias a nível da segurança e redução da migração do gás para estruturas onde possam acumular e causar explosões; uma fonte de rendimento para as entidades gestoras dos aterros através da venda dos gases de aterros ou a venda da eletricidade produzida através dos gases, o que por sua vez afetará positivamente a economia local; e também uma fonte de energia renovável [50].

Embora os aterros apresentem inúmeros impactos e desvantagens, se forem devidamente geridos os seus impactos podem ser reduzidos consideravelmente, e passam a ser uma oportunidade energética. Neste sentido, de modo a que se reduza e minimize os impactos adversos dos aterros para o ambiente e a saúde pública, há que se ter em consideração: a escolha da localização, o qual deverá ser localizado em locais que evitem a possibilidade da contaminação do solo e das águas; como o aterro opera, tendo sempre em vista um sistema que minimize os lixiviados e demais impactos ao máximo; o projeto do aterro, a sua construção, engenharia e operação, os quais devem evitar os impactos e serem realizados cuidadosamente, sem negligência e descuidos; e por fim a manutenção e monitorização do aterro mesmo após o seu encerramento, de modo a evitar problemas que possam surgir a longo prazo [48].

2.4. Nota Conclusiva

Em vista do exposto neste capítulo, verifica-se que os resíduos são quaisquer substâncias descartadas pelo detentor, o que é um desperdício de recursos e demonstra a ineficiência dos processos. Contudo é inevitável a sua geração, logo é importante que a sua gestão seja adequada. Para isso é necessário, antes demais, classifica-los a nível das suas características

de perigosidade e a sua origem, de forma a auxiliar no encaminhamento e na adoção da medida de tratamento e valorização que melhor se adequem ao resíduo em questão.

Para além da classificação, uma gestão eficiente de resíduos deve priorizar as medidas a serem adotadas, sendo que primeiramente há que se reduzir a quantidade de resíduos na fonte através de medidas preventivas que visem evitar a sua geração através da racionalização e otimização, medidas de redução que tenham por objetivo reduzir e minimizar a quantidade e perigosidade dos resíduos, e medidas de reutilização com o intuito de prolongar a vida útil mediante a reuso. Estando os resíduos gerados estes deverão ser valorizados de modo a recuperar os seus recursos materiais e energéticos, respetivamente, tendo sempre em consideração a eficiência e viabilidade ambiental e económica. Em última circunstância considera-se a eliminação, o qual deverá ser executado de forma a que haja o mínimo de impactos ambientais possíveis.

Em suma, uma gestão de resíduos eficiente segue a hierarquia dos resíduos, o qual é a prevenção, valorização e eliminação, respetivamente. Na valorização, a recuperação dos materiais tem prioridade em relação à valorização energética, e deve sempre seguir o critério de viabilidade económica e ambiental. Todas as medidas de gestão deverão sempre ter o intuito de minimizar os impactos, trazer benefícios ambientais, e ter uma ótima relação custo-benefício.

Referências

- [1] Environment Agency, “Background and Rationale,” in *Guidance on The Legal Definition of Waste and Its Application*, 2012 [Online]. Available: <https://t.cohttps://t.co/NZco8SX6Uv>
- [2] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008,” *J. Of. da União Eur.*, 2008.
- [3] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, “Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro,” *Diário da República*, vol. 1ª Série, no. 171, pp. 6526-6545, 2006.
- [4] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território, “Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho,” *Diário da República*, vol. 1ª Série, no. 116, pp. 3251-3300, 2011.
- [5] Environment Protection Authority of Southern Australia, “EPA 842/09 - Waste definitions,” 2009.
- [6] Environment Agency (United Kingdom), “Legal Definition of Waste Guidance - Decide if a material is waste or not: general guide (updated version of part 2 of original full document),” *Environmental Management - guidance*, 2016. [Online]. Available: <https://t.co/vfrhuUnlqa>. [Accessed: 14-Jun-2016]
- [7] Environment Agency, “Detailed guidance on the legal definition of waste and its application,” in *Guidance on The Legal Definition of Waste and Its Application*, 2012 [Online]. Available: <https://t.cohttps://t.co/NZco8SX6Uv>
- [8] European Parliament, “Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/EC

- on waste,” *Dir.*, vol. Directive, no. 2, 2010 [Online]. Available:
http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf
- [9] Environment Agency (United Kingdom), “Turn your waste into a new non-waste product or material,” *Environmental Management - guidance*, 2016. [Online]. Available:
<https://t.co/zfueLA0xR>. [Accessed: 14-Jun-2016]
- [10] Environment Agency, “A Practical Guide for business and other organisations,” in *Guidance on The Legal Definition of Waste and Its Application*, 2012 [Online]. Available:
<https://t.cohttps://t.co/NZco8SX6Uv>
- [11] Scottish Environment Protection Agency, “Guidance for SEPA staff IS IT WASTE,” no. 2, 2006.
- [12] C. A. Maroun, *Manual de Gerenciamento de Resíduos - Guia de procedimentos passo a passo*, 2nd ed. Rio de Janeiro, 2006 [Online]. Available:
<http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808120E98EC7012121CA3548069E>
- [13] P. N. Almeida, *Manual de Gestão de Resíduos Industriais*. 2011.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação.” 2004.
- [15] Comissão Europeia, “Decisão da Comissão 2000/532/CE de 3 de Maio,” 2000.
- [16] Comissão Europeia, “Decisão da Comissão 2014/955/UE de 18 de Dezembro de 2014,” *J. Of. da União Eur.*, 2014.
- [17] M. Gharfalkar, R. Court, C. Campbell, Z. Ali, and G. Hillier, “Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC,” *Waste Manag.*, vol. 39, pp. 305-313, 2015 [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- [18] Pre-Waste, “What is Waste Prevention?” [Online]. Available:
http://www.prewaste.eu/index.php?option=com_k2&view=item&id=55:what-is-waste-prevention?&Itemid=41. [Accessed: 23-Jun-2016]
- [19] P. S. Leme, J. L. G. Martins, and D. Brandão, *Guia Prático para Minimização e Gerenciamento De Resíduos*. 2012.
- [20] A. Formigoni, C. F. Stettiner, E. F. Rodrigues, I. P. de A. Campos, and J. R. Maiellaro, “A logística reversa do óleo de cozinha para produção de biodiesel: Estudo de caso,” *Espacios*, vol. 35, no. 11, 2014 [Online]. Available:
<http://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351103.html>
- [21] G. C. Oliveira Neto, L. E. D. C. Chaves, and O. Vendrametto, “Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha,” *Exacta*, vol. 8, no. 1, 2010.
- [22] S. Kinsella, “Paperwork : Comparing Recycled to Virgin Paper. Why Recycled Content is Crucial for Printing & Writing Paper.” re paper project by environmental paper network, 2012.
- [23] Y. Wang, “Fiber and textile waste Utilization,” *Waste and Biomass Valorization*, vol. 1, no. 1, pp. 135-143, 2010.
- [24] European Bioplastics, “Fact Sheet: Energy Recovery,” *Eur. Bioplastics*, pp. 1-7, 2015.

- [25] Comissão Europeia, “Decisão da Comissão 2011/753/UE de 18 de Novembro de 2011,” *J. Of. da União Eur.*, 2011.
- [26] P. Europeu, “DIRECTIVA 2000/76/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 4 de Dezembro de 2000 relativa à incineração de resíduos,” 2000.
- [27] Deltaway Energy, “Waste-to-Energy: How It Works.” [Online]. Available: <http://www.deltawayenergy.com/wte-tools/wte-anatomy/>. [Accessed: 27-Jul-2016]
- [28] P. Basu, “Introduction,” in *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction - Pratical Design and Theory*, 2nd ed., Elsevier, 2013.
- [29] J. D. Martínez, N. Puy, R. Murillo, T. García, M. V. Navarro, and A. M. Mastral, “Waste tyre pyrolysis - A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 23, pp. 179-213, 2013.
- [30] C. S. Psomopoulos, A. Bourka, and N. J. Themelis, “Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA,” *Waste Manag.*, vol. 29, no. 5, pp. 1718-1724, 2009.
- [31] J. Portugal-Pereira and L. Lee, “Economic and environmental benefits of waste-to-energy technologies for debris recovery in disaster-hit Northeast Japan,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 4419-4429, 2016 [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.083>
- [32] N. J. Themelis and C. Mussche, “2014 Energy and Economic Value of Municipal Solid Waste (MSW), Including Non-Recycled plastics (NRP), Currently Landfilled in the Fifty States,” *Columbia Univ.*, 2014 [Online]. Available: <http://www.americanchemistry.com/Policy/Energy/Energy-Recovery/2014-Update-of-Potential-for-Energy-Recovery-from-Municipal-Solid-Waste-and-Non-Recycled-Plastics.pdf>
- [33] “The Role of Waste Incineration in Germany.” Umweltbundesamt, p. 30, 2008 [Online]. Available: <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/3872.pdf>
- [34] Basel Convention, “Revised technical guidelines for the environmentally sound management of used and waste pneumatic tyres,” 2013.
- [35] ETRMA, “ETRMA Anual Report 2013/2014,” 2014.
- [36] European comission, “Construction and Demolition Waste (CDW).” [Online]. Available: http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm. [Accessed: 01-Jan-2016]
- [37] Eurostat, “Guidance on the interpretation of the term backfilling,” pp. 1-2, 2011.
- [38] Eurostat, “Environment,” in *Key figures on Europe 2015*, 2015, pp. 158-160.
- [39] Eurostat, “Environment indicators,” in *Energy, transport and environment indicators*, 2015, pp. 137-159 [Online]. Available: <https://t.co/4gzno4rWor>
- [40] Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, “Decreto lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto,” *Diário da República 1ª Série*, vol. 153, pp. 5170-5198, 2009.
- [41] Conselho da União Europeia, “Directiva 1999/31/CE de 29 de Abril de 1999,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, 1999.
- [42] M. Allsopp, P. Costner, and P. Johnston, *Incineration and human health. State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health.*, vol. 8, no. March. 2001.
- [43] G. Harrison, R. M., Hester, R. E., & Carroll, “Health and Environmental Effects of Landfilling and

Incineration of Waste - A Literature Review,” 2003.

- [44] P. J. Reddy, “Landfilling,” in *Municipal Solid Waste Management*, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2011, pp. 175-198.
- [45] Ministério do Ambiente, “Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho de 1997,” pp. 2959-2967, 1997.
- [46] Parlamento Europeu, “Directiva 91/271/CEE,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, 1991.
- [47] L. C. da S. Barbiero, “Como funciona um aterro sanitário e a que tipo de resíduos se direciona ?,” *Graltex Treinamentos*, 2015. [Online]. Available: <http://graltex.com/como-funciona-um-aterro-sanitario-e-a-que-tipo-de-residuos-se-direciona/>. [Accessed: 07-Aug-2016]
- [48] Basel Convention, “Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5),” *Basel Convention Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill*, no. 3. 2002 [Online]. Available: <http://www.doe.gov.my/portaltv1/wp-content/uploads/Technical-Guidelines-on-Specially-Engineered-Landfill-D51.pdf>
- [49] Comissão Europeia, “Decisão do Conselho 2003/33/CE,” *J. Of. da União Eur.*, 2003.
- [50] V. Rajaram, F. Z. Siddiqui, and M. E. Khan, “Landfill gas to energy: International status prospects,” in *From Landfill Gas to Energy: Technologies and Challenges*, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC, 2011.

Capítulo 3

3. Caso de Estudo: Pneus usados

3.1. Nota Introdutória

A produção mundial de pneus é estimada em 1,5 bilhões de unidades e, subsequentemente, muitos desses pneus irão tornar-se em pneus usados e em fim de vida. No ano 2013, apenas na Europa foi produzido 4,67 milhões de toneladas de pneus, dos quais foram vendidos 10,6 milhões de pneus pesados e 253 milhões de pneus ligeiros. Em 2010 foram recolhidos na Europa cerca de 3,3 milhões de toneladas de pneus usados, dos quais 10% são provenientes de veículos em fim de vida. Nesse mesmo ano, estima-se que 5,7 milhões de toneladas de pneus usados foram ilegalmente descartados e armazenados, o que representa 1,73 vezes mais a quantidade recolhida. A eliminação inadequada dos pneus usados, em algumas situações, apresenta um elevado risco à saúde pública e aumenta o risco ambiental [1], [2]. Neste sentido a gestão adequada dos pneus usados é de carácter importante, não só devido aos impactos ambientais, mas também pelos riscos à saúde pública.

Para além dos problemas ambientais e para a saúde públicas advindos da má gestão dos pneus usados, a sua eliminação inadequada representa um desperdício de um recurso energético devido ao seu elevado poder calorífico, equivalente ao coque de petróleo e superior ao carvão, com emissões consideravelmente inferior a estes. Nesta ótica, o presente capítulo tem por intuito demonstrar os benefícios ambientais e energéticos da utilização dos pneus como combustível alternativo aos combustíveis fósseis através da comparação e discussão dos resultados de duas entidades responsáveis pelo sistema de gestão de pneus usados em períodos e países diferentes, nomeadamente, a Aliapur na França no período de 2008, e a Ecopneus na Itália nos períodos de 2013 e 2014.

3.2. Enquadramento teórico

De modo a que se compreenda melhor a importância da gestão dos pneus usados e o elevado potencial energético dos pneus, neste tópico será efetuada uma breve introdução aos pneus, com enfoque nas suas propriedades e características que os tornam atrativo para valorização energética, as etapas na sua vida e os potenciais riscos ambientais e a saúde. Seguidamente um breve panorama dos sistemas de gestão de pneus usados na Europa e Portugal. E por fim, apresentam-se as principais formas de valorização dos pneus usados e em fim de vida, com destaque na valorização energética, e as suas respetivas vantagens.

3.2.1. Componentes e características dos Pneus

Pneus ou pneumáticos são artefactos constituídos de borrachas e materiais de reforço, e têm por função a rodagem dos veículos. Os pneus possibilitam o contacto entre o veículo e o solo, suportando então a carga, a transmissão, aceleração, desaceleração e paragens. Para além disso absorve as irregularidades da via e os impactos, bem como garantem a estabilidade e influenciam o bom desempenho do veículo [3], [4].

De modo a garantir as suas funções, os pneus são, primordialmente, constituídos pela secção de contacto com o solo (banda de rolamento), os sulcos, os ombros, as lonas de reforço, a câmara-de-ar (secção interna), a lateral e o talão e o seu aro (Figura 3.1).

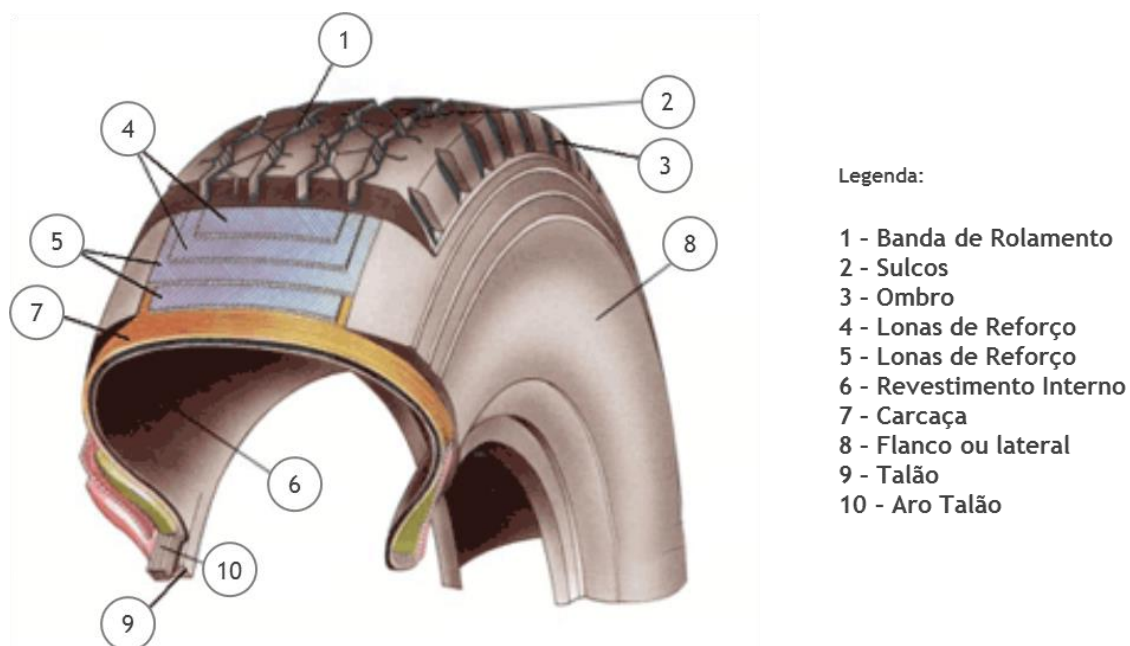


Figura 3.1 - Componentes de um pneu (adaptado da Basel Convention) [5]

Cada um dos elementos do pneu apresenta um papel importante e singular no seu bom funcionamento e desempenho (Tabela 3.1). A banda de rolamento permite que haja o contacto entre o pneu e o solo. Os sulcos por sua vez, que são baixos relevos na banda de rolamento, permitem a drenagem da água e auxiliam na tração do pneu. O ombro minimiza os efeitos das irregularidades dos terrenos. As lonas de reforço, que o como o nome já indica, são lonas que garantem o reforço estrutural e a rigidez do pneu. O revestimento interno encaixa na jante formando a câmara-de-ar do pneu. A carcaça ou estrutura suporta a carga, e é formada por telas têxteis que a reforça, torna mais flexível e resistente à pressão. A lateral protege a carcaça dos choques. E por fim o talão e o aro do talão, encaixam jante e protegem a carcaça dos desgastes provocados por esta [5].

Tabela 3.1 - Componentes dos pneus e a sua função

Componente	Função
Piso / Banda de rolamento	Secção projetada para entrar em contato com o solo, assegurando o atrito apropriado [5], [6].
Sulcos	Cavidades que recortam a superfície da banda de rolamento longitudinalmente e/ou transversalmente, definindo o padrão da banda [5]. Desempenham uma função auxiliar na tração do pneu, permitem que os blocos da banda movam e flitam à medida que o pneu adere ao solo e, promovem a drenagem de água[7].
Ombro	Situada entre a banda de rolamento e a lateral, esta secção minimiza os efeitos da irregularidade dos terrenos e, devido à travagem e sobreviragem em aceleração, permite a transferência de carga [6].
Lonas de Reforço	Camadas de filamentos metálicos revestidos de borracha. Os filamentos são cruzados obliquamente e colados uma sobre a outra. Estes cruzamentos formam triângulos indeformáveis, o que garante a rigidez e o reforço estrutural [5], [8].
Revestimento Interno	Toda a superfície interna do pneu, feita de uma camada de borracha, e aquando colocação da roda na jante a secção fica preenchida de ar, criando assim a câmara-de-ar [8], [9].
Carcaça	Parte estrutural do pneu, onde a banda de rolamento é vulcanizada, e que quando inflado suporta a carga (ex.: numa carcaça de um pneu ligeiro existe cerca de 1400 cabos que podem resistir uma força de 15kg cada, então a carcaça resistirá uma força de 21.000 Kg). É constituído por lonas de finos cabos de fibras têxteis, os quais estão dispostos radialmente, de talão a talão. As telas têxteis da carcaça permitem o reforço, a flexibilidade e resistência à pressão [5], [6], [8].
Flanco/Lateral	Secção entre a banda de rolamento e a parte a ser revestida pela jante. É composto de borracha de modo a proteger a carcaça de choques, como por exemplo pequenos choques em buracos, passeio, e entre outros. No flanco é que se encontra o código que indica as características do pneu [5], [8], [9].
Talão	Secção que se encaixa e fixa na jante. Tem por função a transmissão dos binários motor e travagem da jante para a secção de contacto com o solo, i.e., o talão é crucial para eixo da roda, pois o seu mau desempenho implicará a má transmissão do binário motor e, conseqüentemente, o mau desempenho da banda de rolamento [5], [8].
Aro Talão	Secção interna do talão, formada por um filamento de aço, o qual permite a proteção da carcaça contra o desgaste provocado pela jante, bem como garante a fixação do pneu na jante. O aro do talão consegue suportar até 1800Kg sem risco de rutura [5], [8].

No que diz respeito à composição dos pneus, este é muito diversificada, varia por tipo de pneu, e de fabricante para fabricante, todavia, de uma forma generalizada, os pneus são compostos maioritariamente por polímeros elastómeros, negro de fumo e sílica, e metais (Tabela 3.2) [5].

Tabela 3.2 - Composição dos pneus ligeiros e pesados [5]

Composição	Pneus ligeiros Europa (%)	Pneus Pesados Europa (%)
Borracha/elastómeros	45	42
Negro de fumo (carbono) e sílica	23	24
Metal	16	25
Têxtil	6	-----
Óxido de zinco	1	2
Enxofre	1	1
Aditivos	8	-----
Metal	45	42

Cada um dos materiais e substâncias que compõe os pneus os fornecem propriedades e características diferentes. Por exemplo os elastómeros – principal material dos pneus, que

podem ser tanto de borracha natural (predominantemente obtida da árvore *Hevea brasiliensis*) como de sintéticas (advindo de petroquímicos como a borracha de estireno-butadieno, o Polibutadieno e a borracha butílica) [4] – são flexíveis, apresentam excelente durabilidade, resistência a abrasão, alta capacidade de suporte de carga em tensão e compressão, alta resistência ao rompimento, flexíveis mesmo em temperaturas muito baixas, resistência ao choque térmico, alta capacidade de alongamento, sob repetidas flexões resistem à rachadura, boa resistência ao calor até temperaturas de 90°C, nível de absorção de água insignificante, isolantes elétricos, resistentes à degradação pelo ozônio e oxigênio atmosférico, resistentes a uma grande variedade de produtos químicos, e entre muitos outros [10].

Por sua vez o negro de fumo ou fuligem (derivado do petróleo) e a sílica amorfa (obtida do silício e carbonato de sódio, de origem natural ou sintética) são importantes nos pneus, pois aumentam a sua resistência e durabilidade. Quanto aos metais, estes são utilizados nas lonas de reforço para rigidez e resistência. Os cabos metálicos são de aço de alta qualidade de modo a garantir as propriedades e características de desempenho requeridas da lona de reforço [5].

No que diz respeito à restante composição dos pneus: os têxteis de reforço são normalmente de poliéster, rayon ou nylon; o óxido de zinco é adicionado, essencialmente, como um ativador no processo de vulcanização do pneumático, sendo que depois da vulcanização está presente como zinco ligado [5]; o enxofre desempenha o papel principal no processo de vulcanização, sendo que este processo consiste na aplicação de calor e pressão em borrachas para sua conformação, transformando um enredo viscoso de moléculas com longa cadeia numa rede elástica tridimensional [3], [5], [11]; dos adesivos destaca-se o resorcinol-formaldeído para adesão da borracha, as fibras têxteis e as lonas metálicas; e por fim há uma vasta gama de aditivos (óleos aromáticos) na borracha de modo a modificar as propriedades da mesma aquando do fabrico, no produto final e quanto à maleabilidade [5].

Relativamente às propriedades dos pneus, estes apresentam um elevado poder calorífico, com valores superiores aos plásticos, a celulose, aos óleos usados, aos resíduos da indústria têxtil, aos solventes e a gordura animal. De acordo com a indústria de cimento alemã o poder calorífico do pneu usado no coprocessamento é de 28MJ/kg, valores atrativos, que demonstram que os pneus são uma excelente fonte alternativa de combustível comparativamente a outros materiais (Tabela 3.3) [12]. Este elevado poder calorífico dos pneus indica um elevado potencial energético dos pneus, com um conteúdo energético de cerca de 32 GJ/t, valores muito próximos do carvão e do coque de petróleo. Para além disso o nível de emissões de carbono por conteúdo energético são consideravelmente inferiores aos do carvão, coque de petróleo e a madeira, sendo a diferença na ordem dos 6%, 15% e 23%, respetivamente (Tabela 3.4) [13].

Tabela 3.3 - Quantidade utilizada e poder calorífico médio de combustíveis alternativos em 2012 na Indústria de Cimento Alemã [12]

Combustível alternativo	1.000 t/a	MJ/kg
Pneus no fim de vida	234	28
Óleos usados	56	26
Frações de resíduos industriais e comerciais:		
Celulose, papel e papelão	96	4
Plásticos	474	23
Resíduos da indústria têxtil	3	17
Outros	1246	21
Carne, ossos e gordura animal	176	18
Frações mistas de resíduos urbanos	352	15
Resíduos de madeira	8	14
Solventes	96	22
Lamas de depuração	310	4
Outros como: Lama de perfuração de petróleo; resíduos da destilação de orgânicos	54	9

Tabela 3.4 - Conteúdo energético e emissões de carbono de combustíveis [13]

Combustível	Energia (GJ/t)	Emissões (kgCO ₂ /t)	Emissões (kgCO ₂ /GJ)
Pneus	32	2,270	85
Carvão	27	2,430	90
Coque de petróleo	32.4	3,240	100
Gasóleo (óleo diesel)	46	3,220	70
Gás natural	39	1,989	51
Madeira	10.2	1,122	110

3.2.2. Etapas na vida de um pneu

O ciclo de vida de um pneu passa desde a aquisição da matéria-prima até a produção, uso e descarte. Este ciclo é constituído por diversos estágios, os quais podem ser agrupados em quatro:

- Extração dos minerais e da matéria-prima fósseis, de seguida a transformação destes na matéria-prima a ser utilizada no pneu, como é o caso da borracha, o negro de fumo e demais produtos químicos;
- Produção do pneu;
- Fase de uso do pneu;
- O descarte do pneu usado, podendo este ser inserido novamente na cadeia através da recauchutagem ou então os seus resíduos serem eliminados ou utilizados em algum processo de valorização, como a reciclagem ou até mesmo a valorização energética.

Durante todo o seu ciclo está sujeito a políticas de gestão de resíduos, tanto de carácter preventiva como de eliminação dos resíduos. A gestão preventiva dos resíduos dá início na etapa de produção e uso, onde através da recauchutagem, reparações e reutilização estende-se o tempo de vida útil. A recauchutagem e reparações dos pneus descartados permite que estes sejam novamente inseridos no mercado, e somente na impossibilidade de medidas preventivas estes são destinados para valorização dos recursos materiais e energéticos ou eliminados (Figura 3.2) [5].

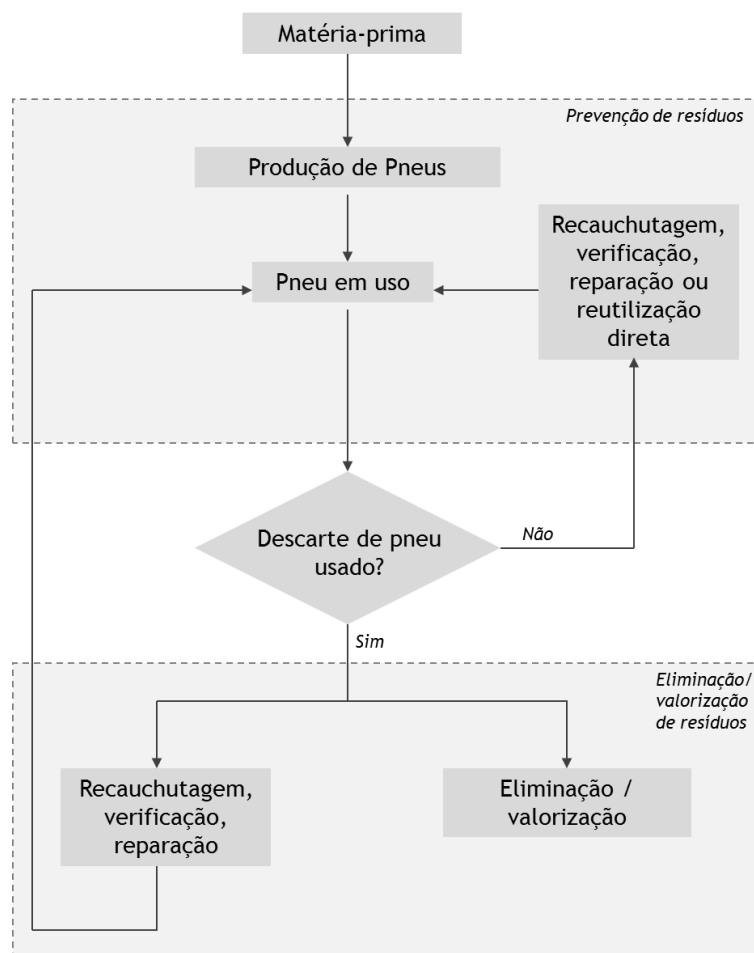


Figura 3.2 - Esquema de ciclo de vida de um pneu (adaptado da Basel Convention) [5]

Tendo em conta todo o ciclo de vida do pneu, nota-se que o pneu em si após a sua fabricação passa por três fases:

- **Pneu Usado (PU)** - de acordo com o Decreto-lei 111/2011, são os pneus que o respetivo detentor se desfaça ou tenha a intenção ou a obrigação de se desfazer e que constituam resíduos, e que podem ser submetidos a processos de recauchutagem de modo a serem reinsertados no mercado [14];
- **Pneu Recauchutado e Retratado (PR)** - consiste num pneu usado que é submetido a processos que visam a sua reutilização e recolocação no mercado [14];

- **Pneu em Fim de Vida (PFV)** - são todos os pneus usados que não estando aptos para serem reutilizados e/ou recauchutados, são submetidos a processos de valorização, que consistem em operações que visam a utilização de pneus usados para outros fins que não os iniciais [14], [15];

3.2.3. Potenciais riscos ambientais e para saúde pública

Os pneus não contêm propriedades perigosas, todavia se a sua gestão for indevida podem representar um risco para a saúde pública e o ambiente. O tempo de decomposição de um pneu é indeterminado, os resíduos ocupam um volume considerável e são difíceis de compactar, recolher e eliminar, pelo que a gestão adequada dos pneus em fim de vida é da máxima importância e permite a redução dos riscos associados.

3.2.3.1. Riscos para Saúde Pública

Relativamente à saúde pública, os resíduos de pneus representam a moradia ideal para roedores e mosquitos que transmitem a dengue, o vírus zika, a febre-amarela e o paludismo. Esta problemática abrange as regiões tropicais e subtropicais, onde as temperaturas mais baixas rondam os 10°C [5], [16]-[19].

A configuração do pneu e sua impermeabilidade permite a acumulação de água parada e outros resíduos, o que o torna ideal para o depósito dos ovos dos mosquitos *Aedes*, *Haemogogus* e *Anopheles*, bem como demais larvas. Todas as doenças transmitidas por esses mosquitos apresentam um carácter fatal se não forem tratadas adequadas e imediatamente, e mesmo com uma intervenção atempada o paciente poderá ainda correr risco de morte. No caso da febre hemorrágica Dengue (transmitido pelos mosquitos do tipo *Aedes*, principalmente, *Aedes aegypti*), após o período de incubação o doente apresenta os sintomas durante 2 a 7 dias, pelo que dependendo da severidade e da resposta imunológica poderá ser ou não fatal. O paludismo (causada por protozoários do tipo *Plasmodium* transmitido pela picada do mosquito *Anopheles*) por sua vez apresenta um risco ainda maior de morte, após o período de incubação, que pode levar mais de 10 dias, o doente terá apenas 24h, devendo receber tratamento imediato. Quanto à febre-amarela (transmitido por *Aedes* e *Haemogogus*), pode-se considerar de entre estas doenças a mais alarmante, pois para além de ter um período de incubação de apenas 3 a 7 dias, é de difícil diagnóstico e não existe nenhum tratamento específico a não ser reduzir a severidade dos sintomas para reconfortar o paciente. Mais recentemente, desde 2015, em diversas partes do globo houve surtos do vírus zika, o qual também é transmitido pela família de mosquitos *Aedes*, principalmente, *aedes aegypti* (mosquito transmissor da dengue, Chikungunya e febre-amarela), e apresenta sintomas semelhantes a dengue com duração de 2 a 7 dias. Até a presente data sabe-se que esta doença pode levar a complicações, nomeadamente, a microcefalia e Síndrome de Guillain-Barré [16]-[19].



Figura 3.3 - Riscos de pneus à saúde pública: (a) depósito de pneus em baldios; (b) acumulação de água em pneus; (c) mosquito *aedes aegypti*. A disposição de pneus em baldios leva à acumulação de água e lixos, o que os tornam o ambiente propício ao desenvolvimento de mosquitos transmissores de doenças. (Fonte das imagens: (a),(b) – Reprodução reportagem TV TEM [20]; (c) – James Gathany / CDC [21])

É de se salientar que os ovos dos mosquitos têm a capacidade de viver por muitos meses na ausência de água, pelo que o comércio de pneus usados pode auxiliar na propagação e entrada dessas novas espécies de mosquitos em novos ecossistemas. Assim sendo, os pneus usados não só irão contribuir para proliferação destes mosquitos mas também a introdução de espécies não nativas, levando a que seja maior a dificuldade do controlo e, conseqüentemente, aumentar o risco de pandemias [5], [17].

3.2.3.2. Riscos Ambientais

A não biodegradabilidade, a dificuldade de compactação e eliminação dos pneus são os maiores desafios para redução dos riscos ambientais, pelo que uma boa gestão dos pneus e seus resíduos é da máxima importância. Os problemas ambientais que ocorrem como resultado do depósito de pneus usados estão associados aos seguintes fatores:

- **Depósito de pneus em leitos de águas** - pode criar um bloqueio no fluxo tanto de canais, ribeiros e águas das chuvas, tendo por consequência a alteração dos fluxos e o assoreamento [5], [11];
- **Deposição em aterros sanitários** - a baixa compressibilidade, a tendência dos pneus compactados voltarem à forma original e o tempo de decomposição de centenas de anos leva com que reduzam a vida útil dos aterros, comprometendo a sua estabilidade [11];
- **Instalações de grandes depósitos** - pneus empilhados constituem um perigo pois ficam sujeitos a queima acidental ou provocada. Quando incendiados são difíceis de controlar e extinguir, podendo queimar durante meses, gerando fumo, óleos e contaminantes tóxicos para o solo, o lençol freático e ar [5], [11].

Para além das problemáticas ambientais advindas da gestão e depósito inadequados dos pneus usados há também os riscos ambientais associados provenientes da composição dos pneus, mais concretamente, a ecotoxicidade, lixiviação e queima incontrolada.

No que diz respeito à ecotoxicidade — toxicidade das partículas dos pneus usados e do descarte não controlado —, a composição diversificada dos pneus influencia vários parâmetros dos estudos de avaliação de toxicidade, pelo que diferentes estudos apontam resultados distintos. O estudo realizado pelo Instituto Pasteur de Lille em 1995 ao pó da borracha da carcaça do pneu com algas demonstrou resultados positivos, não havendo qualquer toxicidade. No entanto, em 2003, testes realizados aos fragmentos da borracha da lateral dos PFV (pneus em fim de vida) pela CIWMB (*California Integrated Waste Management Board*), revelaram toxicidade em bactérias, invertebrados, peixes e algas. Por sua vez, estudos a longo prazo indicam que alguns tipos de pneus, mais especificamente, os com elevado nível de óleos aromáticos, sob condições específicas podem libertar quantidades significativas de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em ambientes aquáticos [5]. Outros estudos efetuados em 2005 com o objetivo de testar se os diversos compostos solúveis em água dos pneus podem contaminar a água e ter efeitos tóxicos sobre organismos aquáticos, mais especificamente, *Daphnia magna*, revelaram que os doze tipos de pneus testados (pneus com óleos altamente aromáticos) são tóxicos a este organismo aquático, aumentando o nível de toxicidade conforme é prolongada a exposição e a temperatura [22]. Mais recentemente, em 2011, Marwood *et al* avaliaram a toxicidade das partículas de pneus a microalgas e algas (*Daphnia magna*, *Pseudokirchneriella subcapita* e *Pimephales promelas*) utilizando sedimentos elutriados. Os resultados do estudo de exposição dos sedimentos elutriados indicaram baixo risco da exposição a partículas de desgaste dos pneus em ecossistemas aquáticos. A concentração dos químicos libertados a curto prazo demonstrou ser muito reduzida para causar qualquer impacto [23].

Como se pode verificar os resultados dos estudos existentes são divergentes, pelo que há a necessidade de mais estudos da toxicidade das partículas dos pneus tanto a curto prazo como a longo prazo. As discrepâncias existentes nos diferentes estudos poderão ser devido aos métodos utilizados nos testes de toxicidade, bem como a composição dos pneus ser muito variada, variando de fabricante para fabricante e por tipo de pneu. No entanto averigua-se que os pneus apresentam um elevado risco de toxicidade em meios aquáticos.

No que concerne à lixiviação ou percolação — processo de extração de substâncias de um sólido através da dissolução em líquidos, isto é, no caso dos pneus será a libertação de substâncias solúveis quando estes forem expostos a líquidos —, o líquido percolado dos pneus pode contaminar os solos, o lençol freático e águas de superfície no local e nas proximidades, todavia diversos fatores influenciam o aumento da taxa de lixiviação e de concentração de substâncias libertadas pelos pneus, sendo estes a dimensão do pneu, a quantidade de aço exposto, o ambiente químico, a permeabilidade do solo, a distância das águas subterrâneas e do local de armazenamento dos pneus, o tempo de contacto com a água, o fluxo vertical água para o solo,

o fluxo horizontal das águas subterrâneas e os compostos lixiviados no local (Tabela 3.5) [15]. O impacto ambiental do líquido percolado dos pneus depende não só desses fatores, mas principalmente dos aditivos da borracha, sendo os óleos aromáticos os mais problemáticos. Uma escolha inteligente de aditivos e mesmo a diminuição da percentagem destes terá por consequência uma redução considerável do potencial risco ambiental dos pneus [5].

Tabela 3.5 - Fatores que influenciam o aumento da taxa de lixiviação e concentração de substâncias libertadas pelos pneus [15]

Fatores	Descrição
Dimensão do pneu	A lixiviação de pneus inteiros é mais lenta do que a de fragmentos de pneus devido à diferença existente entre a relação entre a área de superfície e o volume.
Quantidade de aço exposto	Se o aço estiver exposto, como é o caso de tiras e fragmentos de pneus, a probabilidade do aumento da velocidade de libertação de manganês e ferro é maior do que em pneus inteiros onde não há exposição do aço.
Ambiente químico	A probabilidade de lixiviação de metais ser mais rápida sob condições acídicas é maior, enquanto para compostos orgânicos é o reverso, a velocidade é maior em condições básicas.
Permeabilidade do solo	A lixiviação tende a ser mais rápida em solos permeáveis, ou seja, quanto maior a permeabilidade do solo maior é a velocidade e taxa de lixiviação.
Distância das águas subterrâneas	Quanto maior for a distância vertical das águas subterrâneas menor é a probabilidade da sua contaminação.
Distância do local de armazenamento dos pneus	Quanto maior for a distância da jusante do local de armazenamento do pneu, menor será a concentração de contaminantes no solo e águas subterrâneas.
Tempo de contacto com a água	Quanto maior for o tempo de contato do pneu com a água, maior será o risco de contaminação de águas subterrâneas.
Fluxo vertical de água para o solo	Quanto maior for o fluxo de água para o solo (chuvas), maior é a diluição dos contaminantes.
Fluxo horizontal das águas subterrâneas	Quanto maior for o fluxo do lençol freático maior será a propagação dos contaminantes.
Compostos lixiviados no local	Os níveis de manganês e ferro estão suscetíveis a aumentar em lençol freático que foi exposto ao aço. Os níveis de alumínio, zinco e compostos orgânicos podem ser elevados em águas subterrâneas. Níveis de zinco, cádmio e chumbo estão sujeitos a aumentar no solo.

Relativamente à queima não controlada, os pneus não entram espontaneamente em combustão. Segundo estudos da BRE (*Building Research Establishment*), a temperatura mínima de ignição de um pneu é de 182°C quando mantido a essa temperatura durante 65,4 dias, quando exposto durante 5 minutos a temperatura de 350°C a ignição é espontânea, e a 480°C a ignição ocorre apenas em 1 minuto de exposição [5]. Outros estudos sobre a combustão de pneus ao ar livre entre 100 a 2000°C revelam que os espaços vazios nos pneus permitem o transporte de oxigénio, sendo este o mecanismo que sustenta o processo de combustão [3].

No caso da ocorrência de incêndios acidentais ou provocados de pneus, a intensidade das chamas gera elevadas temperaturas, o que permite a rápida propagação e a criação de grandes nuvens densas de fumo e outros produtos da combustão, nomeadamente, as cinzas e o óleo pirolítico, estando a composição dos mesmos dependente do tipo de pneu, a taxa de queima,

a dimensão da pilha de pneus, a temperatura ambiente e a humidade. As cinzas são compostas principalmente por carbono, óxido de zinco, dióxido de titânio, dióxido de silício, cádmio, chumbo e outros metais pesados, substâncias estas que provocam a poluição gradual no solo. Por sua vez, a produção do óleo pirolítico decorre devido a reações de pirólise, que acontecem em consequência das altas temperaturas e da diminuição da quantidade de oxigénio no ar. A água utilizada no combate ao incêndio aumenta a produção do óleo pirolítico e permite o seu transporte, resultando na contaminação do solo, das águas de superfície e subterrâneas [3], [5], [15].

Quanto ao fumo da queima ao ar livre, este é composto por CO₂ (GEE)), compostos orgânicos voláteis e poluentes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas, furanos, ácido clorídrico, benzenos, Bifenilos Policlorados, níquel, arsénio, zinco, crómio, vanádio e cádmio. Este fumo apresenta não só um risco para a atmosfera mas também para o solo, águas de superfície e subterrâneas, pois caso ocorra chuva, essas substâncias são diluídas na água da chuva [5].

3.2.4. Sistemas de Gestão de Pneus usados na Europa

A produção de pneus da Europa representa 20% da produção mundial, tendo em 2013 produzido 4,67 milhões de toneladas, 2% superior a 2012, ano em que foi gerado aproximadamente 3,6 milhões de toneladas de pneus usados [1]. Neste sentido verifica-se a necessidade de medidas de gestão dos pneus usados que visem o melhor resultado ambiental possível, pois as consequências advindas da má gestão apresentam um impacto relevante.

De modo a que haja uma boa gestão dos pneus usados e resíduos, a União Europeia adotou políticas que conduzam a um ciclo económico que impulse a reciclagem e previna a perda de materiais, crie empregos, gere um crescimento económico, e constitua uma simbiose entre a indústria e a preservação ambiental, levando zero-resíduos e a redução das emissões e impactos ambientais [1].

Relativamente aos produtores de pneus, estes enfrentam não só a pressão das legislações e regulamentações, mas também da crescente preocupação com as questões ambientais por parte do público, pelo que é do interesse da indústria de pneus continuar proactivo e responsabilizar-se pela gestão dos pneus usados.

De forma a alcançar a meta de zero-resíduos três tipos de sistemas de gestão de pneus usados são adotados, sendo estes o sistema de:

- **Responsabilidade Alargada do Produtor** - consiste num modelo em que o sistema legal obriga aos produtores e importadores a recolher os pneus usados e garantir os níveis de valorização exigidos dos Estados Membros da união europeia. Os produtores terão de criar um sector de atividade especializado na recolha, seleção e tratamento dos pneus

usados, sendo o sector representado por uma ou mais organizações, ou uma associação dos produtores. Esta entidade poderá ou não quantificar e identificar uma eco-contribuição, o qual é paga pelo produtor e repercute ao longo da cadeia até ao consumidor. Esta contribuição permite o bom funcionamento do sistema de gestão [24], [25]. Quanto à cadeia do sistema, há a recolha e seleção dos pneus usados (PU), os quais dependendo das suas condições são tratados pelos próprios produtores ou dão seguimento a operadores contratados pelos produtores para a transformação e valorização. Os PU são recauchutados pelos produtores e reinseridos no mercado. Por sua vez, os pneus em fim de vida (PFV) sofrem processos de transformação originando novos produtos ou dão prosseguimento para processos de valorização. Por fim os resultados desta cadeia deverão ser, obrigatoriamente, declarados pelos produtores à associação de produtores e, por sua vez, esta ao Estado (Figura 3.4) [2].

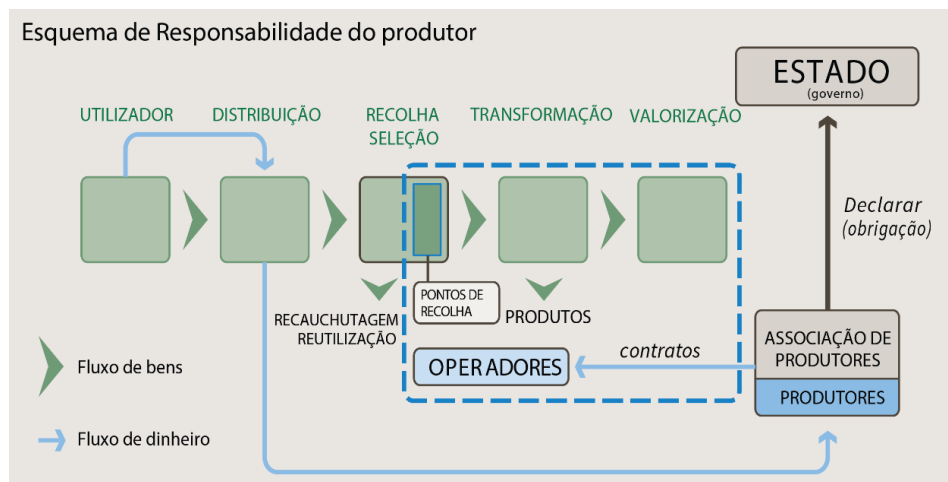


Figura 3.4 - Sistema da Gestão de Pneus Usados de Responsabilidade do Produtor [2]

- **Sistema de taxas** - contrariamente ao modelo de responsabilidade do produtor, neste modelo a responsabilidade é do Estado. No sistema de taxas é imposto uma taxa de deposição aos produtores e vendedores. Esta taxa por sua vez é adicionada ao preço do produto, o que implica o pagamento desta pelo cliente. A gestão dos pneus usados é efetuada pelos operadores de gestão de resíduos, os quais são financiados pelo Estado [2].
- **Sistema de mercado livre** - Neste modelo de gestão de pneus usados, a legislação estipula os objetivos a serem cumpridos, mas não designa quais as entidades responsáveis. Nesta ótica todos os operadores da cadeia de valorização estabelecem contratos sob as condições do sistema e atuam conforme a legislação. Este modelo pode levar a cooperação voluntária entre empresas de forma a adotar as melhores práticas [2].

No caso concreto de Portugal, o modelo é o da responsabilidade alargada do produtor, em que, de acordo com o Decreto-Lei n.º 111/2001, a gestão de pneus usados deve ser submetida a um

sistema integrado e a responsabilidade transferida para uma entidade gestora do sistema, a qual deverá estar devidamente licenciada para exercer a atividade. A entidade gestora deverá ser sem fins lucrativos e composta pelos produtores, distribuidores, recauchutadores, recicladores e valorizadores. As funções da entidade gestora são as de: organizar a rede de recolha e transporte de pneus usados; decidir o destino a ser dado a cada lote de pneu usado de acordo com a hierarquia e objetivos de gestão; e estabelecer contratos com os recauchutadores, recicladores e outros valorizadores de modo a regularizar as receitas e encargos determinados pelos respetivos destinos dados aos pneus [14]. Quanto ao Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU) em si, consiste em um sistema articulado de processos e responsabilidades que visa o encaminhamento correto dos pneus em fim de vida, através da promoção da recolha, separação, retoma e valorização. O sistema é financiado pela cobrança de um *Ecovalor*, que é a prestação financeira pelo correto encaminhamento dos pneus em fim de vida. Esta prestação é paga pelos produtores e depois transferidas aos clientes [26].

3.2.5. Gestão de Pneus Usados

Tal como a gestão de resíduos, a gestão de pneus usados segue a mesma hierarquia, dando-se prioridade a medidas preventivas que reduzam a quantidade de resíduos gerados, seguidamente medidas valorativas, que tenham por intuito recuperar o máximo de recursos materiais (reciclagem) e energéticos (valorização energética), e em último caso opta-se pela eliminação, o qual não pode ser em aterros, pois é proibida o seu descarte em aterros de acordo com a Diretiva 1999/31/CE [27], [28].

3.2.5.1. Recauchutagem

Medidas de gestão preventivas abarcam tanto evitar, reduzir e reutilizar, sendo o enfoque na reutilização, o qual engloba todas as operações de recuperação do pneu, em parte ou na totalidade, para desempenhar a mesma ou diferente função para a qual foi concebida [29]. Aplicações de pneus usados para outros fins, abarca aplicações que visam beneficiar da resistência estrutural e da geometria dos pneus usados inteiros (ex.: muros de retenção, construções de edificações, proteção de molhes marítimos e de barcos, etc.), e das características dos materiais dos pneus fragmentados (ex.: pisos permeáveis, manufatura de solas de sapatos, etc.) [5], [11], [30].

Para aplicações com o mesmo fim, os pneus usados são submetidos a operações de reconstrução ou recauchutagem, que conforme o Decreto-Lei n.º 111/2001 é uma *“operação pela qual um pneu já utilizado, após cumprir o seu ciclo de vida para o qual foi projetado e concebido, é reconstruído de modo a permitir a sua utilização para o mesmo fim para que foi concebido”* [14]. O processo de reconstrução consiste na renovação da camada exterior, ou seja, a carcaça do pneu é colocado uma nova banda de rolamento, banda de rolamento e ombro, ou banda de

rolamento e parede lateral (substituição de talão a talão), com o intuito de preservar as qualidades que asseguram a sua utilização como um pneu novo [3], [5], [31].

Como toda e qualquer atividade, as operações de reconstrução de pneus geram resíduos, sendo os principais compostos orgânicos voláteis de solventes, colas e compostos de borracha gerados durante a vulcanização [5]— tratamento da borracha com enxofre, calor e pressão, o qual melhora as propriedades mecânicas da borracha [32] —, e os resíduos de borracha advindos da reparação da estrutura. A borracha removida dos pneus geralmente é vendida como pó de borracha para outros fins, como por exemplo a produção de compósitos poliméricos e aplicação na indústria de construção [5]. Os impactos ambientais da recauchutagem são de um modo geral positivas. Não obstante é de se salientar que os pneus podem ser recauchutados por um número limitado de vezes, pelo que revestimentos de baixa qualidade poderão, por conseguinte, a longo prazo, resultar num aumento do volume global de resíduos de pneus no país. Portanto, é de extrema importância o uso de técnicas apropriadas e material de qualidade [5].

Nota-se que a recauchutagem apresenta diversos benefícios a nível ambiental e económico, sendo estes o prolongamento do tempo de vida do pneu, o que implicará a geração de menos resíduos em relação à construção de um pneu novo, mas também um menor consumo de material e energia, visto utilizar muitos dos materiais e estrutura original do pneu. O material necessário para reconstrução de um pneu é cerca de 30% dos utilizados para produção de um pneu novo. A energia utilizada para recauchutar um pneu é de aproximadamente 400MJ, enquanto para o fabrico de um pneu novo a energia requerida é de 970MJ [5], [9].

3.2.5.2. Reciclagem

Os pneus são uma grande fonte de recursos materiais, particularmente, a borracha, as fibras têxteis, o aço e o próprio pneu em si. Neste sentido a recuperação dos materiais dos pneus em fim de vida é de carácter importante, pois evita os impactos advindos da produção da borracha sintética. De acordo com o Decreto-Lei n.º 111/2001, reciclagem de pneus consiste *no “processamento de pneus usados para qualquer fim, que não o inicial, nomeadamente como matéria-prima, excluindo a valorização energética”*, isto é, são processos para valorização dos materiais dos pneus em fim de vida [14].

Os processos de reciclagem podem ser mecânicos ou criogénico, os quais são fundamentalmente a trituração dos pneus. O processo mecânico consiste na trituração mecânica dos pneus, em que através da passagem numa série de trituradoras e moinhos a borracha é fragmentada de forma a obtenção da granulometria pretendida. Os demais materiais do pneu, mais especificamente, o aço e o têxtil são retirados por separação magnética e por diferença de densidade, respetivamente. Por sua vez, o processo criogénico consiste na utilização de azoto líquido para congelação da borracha, de modo a tornar a borracha frágil e aumentar a facilidade de moagem posterior [33]. Os materiais obtidos destes processos são:

- **Pneu triturado** - o pneu foi sujeito apenas à trituração, sem processos posteriores de separação dos materiais. Os fragmentos obtidos medem de 25-300mm, e são denominados de material agregado derivado de pneus. Este material é amplamente aplicado na construção civil, podendo ser um substituto para brita. Agregado derivado de pneus é mais leve em 30-50%, drena 10 vezes e fornece 8 vezes mais isolamento do que a brita [2];
- **Granulado e pó de borracha** - usado no fabrico de pavimentos desportivos, produtos de moldagem borracha, como blocos para pavimentos e telhas, para construção de relva artificial, e entre outros [2];
- **Aço** - o aço extraído do pneu serve de matéria-prima para a indústria siderúrgica [34];
- **Fibras têxteis** - usado como matéria-prima da Indústria Painéis Termo-acústicos. É também passível de valorização energética, com um poder calorífico na ordem dos 7200 Kcal/kg [34].

3.2.5.3. Valorização Energética

Os pneus em fim de vida apresentam um elevado poder calorífico, o que os torna altamente atrativos como combustíveis alternativos em processos de energia intensiva, especialmente, a indústria cimenteira e centrais termoelétricas [5]. De acordo com o relatório de 2008 da WBCSD, a energia produzida da combustão de PFV é a mesma que a do coque de petróleo, 20% e 70% superior ao do carvão e da madeira, respetivamente [13]. A título de exemplo, o poder calorífico de um pneu ligeiro equivale ao de 7,6 litros de petróleo. Uma tonelada de pneus consegue gerar cerca de 8.889 kWh de energia elétrica, valor superior à média eletricidade consumida anualmente por habitação na Europa (Eurostat: 2500kWh a 5000kWh por habitação) [2], [13]. Mesmo comparativamente a outros combustíveis alternativos, os Combustíveis Derivados de Pneus (CDP) apresentam um poder calorífico de pelo menos 15% superior, sendo o seu principal concorrente os resíduos plásticos (Tabela 3.3) [12].

No que diz respeito às formas de valorização dos PFV, devido ao alto poder calorífico, os pneus são um combustível alternativo muito atrativo para operações à base de combustão, em que o poder calorífico é um fator chave para obtenção de melhores resultados. Neste sentido, nota-se que a principal forma de valorização de PFV é através da combustão controlada, nomeadamente, o coprocessamento na indústria cimenteira na produção do clínquer de cimento, a sua incineração em centrais termoelétricas, e como combustível alternativo na indústria siderúrgica (Tabela 3.6). Para além do seu uso como combustível alternativo, os PFV também podem ser submetidos à pirólise, processo que consiste na decomposição anaeróbica, e que têm por intuito aumentar a taxa de valorização e extrair o máximo de materiais e combustíveis dos PFV, designadamente, resíduos sólidos (40%), gás pirolítico (10%) e óleo pirolítico (50%) [1], [5]. O gás e o óleo pirolítico são ambos combustíveis, com excelentes propriedades caloríficas, e um rendimento energético na ordem dos 45% e 35%, respetivamente [5], [31], [35]. Por sua vez, o resíduo sólido da pirólise é uma mistura de aço e negro de fumo,

sendo o primeiro de elevada qualidade e resistência a tração, o qual pode ser utilizado na remanufactura dos cabos de aço de pneus, e o segundo apresenta baixa qualidade [5]. É de se fazer notar, que embora a pirólise apresente resultados positivos e aumente a taxa de valorização dos PFV, ainda não é um processo economicamente viável devido a relação negativa entre o preço de venda dos subprodutos e o custo do processo. Outra desvantagem é a nível dos impactos ambientais, pois o processo gera resíduos perigosos, emissões atmosféricas e efluentes, que deverão ser prevenidos e controlados com sistemas de tratamento de ar e água [1], [5].

Tabela 3.6 - Tecnologias de Valorização Energética de PFV à base de combustão

	Descrição
Coprocessamento na indústria cimenteira	<p>Tecnologia em que se usa os resíduos de processos industriais, materiais recuperados de resíduos e PFV como substitutos de combustível e/ou matéria-prima na produção do clínquer de cimento [5], [36]. No caso dos PFV, o seu coprocessamento proporciona o aproveitamento térmico dos PFV, a diminuição da combustão dos combustíveis fósseis não renováveis e o enriquecimento do clínquer com o aço presente no pneu [4].</p> <p>Objetivo Primário: Valorização Energética; Objetivo Secundário: Recuperação de Materiais; Objetivo Terciário: Eliminação dos PFV.</p> <p>Vantagens: valorização energética + reciclagem + eliminação do PFV; destruição de poluentes orgânicos devido às altas temperaturas (1200° -2000° C) e tempos de retenção suficientemente longos (>2s); adsorção de elementos gasosos como HF, HCl e SO₂ em reagentes alcalinos; devido às altas temperaturas dos fornos as condições de combustão para diferentes flutuações são uniformes; tempo de retenção de gases de exaustão reduzido o que inibe a síntese de novos dioxinas e furanos; não há subprodutos resultantes, pois todos os materiais são incorporados à matriz do clínquer [5], [37].</p> <p>Desvantagens: emissões atmosféricas de GEE, PCDD, PCDF, HCB e PCB devido à combustão incompleta de alguns combustíveis; emissões de metais pesados (Tl, Pb, Cd, Hg); diminuição ou aumento de PCDD/F, dependendo da constituição dos pneus, demais resíduos e combustível utilizado; emissões de NO_x e SO_x nas poeiras; combustão incompleta → CO e COVs [5], [38]-[40].</p> <p>Medidas para redução dos impactos: prática de bons programas de operação e manutenção preventiva; uso de substâncias menos perigosas; monitorização e estabilização de parâmetros críticos do processo (mistura, homogeneização e alimentação do combustível); evitar a queima de resíduos que possuam ou gerem cloro (afeta qualidade e funcionamento do sistema); implementação de sistemas de tratamento de emissões atmosféricas [5], [37], [40];</p>
Incineração centrais termoelétricas	<p>Produção de energia elétrica através do aproveitamento do poder calorífico dos resíduos. O processo consiste no aquecimento de água para geração de vapor, o qual irá girar uma turbina, gerando energia mecânica que será por fim convertida em energia elétrica [5], [41].</p> <p>Objetivo Primário: Valorização Energética; Objetivo Secundário: Eliminação; Objetivo Terciário: Recuperação dos materiais dos resíduos da queima.</p> <p>Vantagens: alto poder calorífico PFV leva a produção de mais energia; destruição completa dos resíduos; aço presente no pneu é recuperado e reciclado na indústria siderúrgica; as cinzas remanescentes são utilizados como agregado na construção civil [5].</p> <p>Desvantagens: emissões de GEE; a combustão dos elastómeros presentes no PFV pode libertar dioxinas e furanos; o zinco presente no PFV pode aumentar as partículas de zinco presente nas emissões [5].</p> <p>Medidas para redução dos impactos: Sistema de tratamento de NO_x e Dioxinas/Furanos; sistema de captura de Hg e metais pesados; sistema de tratamento de gases ácidos; sistema de filtragem de partículas [41].</p>

Tabela 3.6 - Tecnologias de Valorização Energética de PFV à base de combustão (continuação)

Descrição	
Indústria siderúrgica	<p>Reciclagem do aço de PFV inteiros ou fragmentados nos fornos de arco elétrico, em que é introduzida uma mistura de PFV e sucata nos fornos, sendo que o carbono presente no PFV contribui para a redução do ferro, minimizando o consumo de agentes redutores e o aço presente no PFV funde-se, melhorando assim o desempenho metalúrgico. Para além disso, o alto poder calorífico e teor de carbono do PFV torna-o num substituto ideal de antracite, pelo que para além da reciclagem do aço presente no PFV, este também serve de combustível alternativo à antracite (1,7 kg de PFV = 1kg de antracite) [2], [31].</p> <p>Objetivo Primário: Recuperação Material; Objetivo Secundário: Valorização Energética; Objetivo Terciário: Eliminação.</p> <p>Vantagens: reciclagem do aço + valorização energética + eliminação do PFV; substituição de antracite por PFV, e poupança desse recurso natural;</p>

PFV - Pneus em fim de vida; GEE - Gases de Efeito Estufa; PCDD - Dibenzodioxinas policloradas; PCDF - Dibenzofuranos policlorados; HCB - Hexaclorobenzeno; PCB - Bifenilos policlorados.

No que concerne aos impactos ambientais da valorização energética de PFV por meio de combustão controlada, as emissões são inferiores à de outros combustíveis, o conteúdo de carbono por unidade de energia é inferior ao do carvão, coque de petróleo e madeira, o que implica uma redução nas emissões de GEE (Tabela 3.4) [13]. Em alguns casos o uso de pneus ao invés de combustíveis fósseis permite a redução das emissões de óxidos de nitrogénio e óxidos de enxofre [13]. Devido à fração de biomassa, os CDP possibilitam a redução de emissões de CO₂ de origem fóssil. Tendo em conta o poder calorífico, o conteúdo de carbono e a biomassa, as emissões de PFV são de cerca de 59 t CO₂/TJ para pneus ligeiros e de 43 t CO₂/TJ para pneus pesados, enquanto para o coque de petróleo e carvão está compreendida entre 90-110 t CO₂/TJ, ou seja, as emissões de CO₂ dos pneus é 45% inferior aos do carvão e coque de petróleo (Tabela 3.7) [42].

Tabela 3.7 - Comparação CDP e combustíveis fósseis sólidos [42]

	PFV ligeiros	PFV pesados	Carvão	Coque de petróleo
NCV (MJ/kg)	30,2	26,4	26	32
Carbono (C)	69 %	61 %	64-68%	84-97%
Biomassa (%)	18,3%	29,1%	0%	0%
Enxofre	1,3%	1,4%	1,3%	0,2-6%
EF: t CO ₂ /TJ	59*	43*	90-95	96-110
EF: t CO ₂ /t	1,8*	1,1*	2,5	3,1

* Valor líquido de emissões, leva em consideração o carbono da biomassa

Estudos feitos pela Aliapur (2009) para produção de uma tonelada de clínquer de cimento em fornos com um consumo médio de 3.300MJ por tonelada de clínquer demonstraram a redução de emissões de dióxido de carbono fóssil na ordem dos 38% para PFV ligeiros, 55% para PFV pesados, 45% para uma mistura de PFV ligeiros e pesados, e de 19% para uma mistura com a mesma percentagem de Coque de petróleo e PFV ligeiros (Tabela 3.8) [42].

Tabela 3.8 - Exemplo de emissões CO₂ para produção de uma tonelada de clínquer [42]

Mistura	Fluxo	Emissões de combustão (kg CO ₂ / t ck)	Redução de emissões de CO ₂ fóssil
100% Coque de petróleo	0,1t	314 Kg CO ₂ / t ck	
100% Carvão	0,13t	317 Kg CO ₂ / t ck	
100% PFV ligeiros	0,11t	194 Kg CO ₂ / t ck	-38%
100% PFV pesados	0,12t	142 Kg CO ₂ / t ck	-55%
70% PFV ligeiros + 30% PFV pesados	0,11t	174 Kg CO ₂ / t ck	-45%
50% Coque de petróleo + 50% PFV ligeiros	0,10t	255 Kg CO ₂ / t ck	-19%

Para além da redução das emissões de CO₂, os combustíveis derivados de pneus apresentam uma menor quantidade de emissões de metais pesados em relação ao carvão (Gráfico 3.1). E os resíduos gerados da incineração dos pneus podem também ser utilizados como substitutos de outras matérias-primas, como por exemplo os resíduos de ferro são incorporados na matriz do clínquer de cimento, o enxofre é adsorvido e transformado em sulfatos.

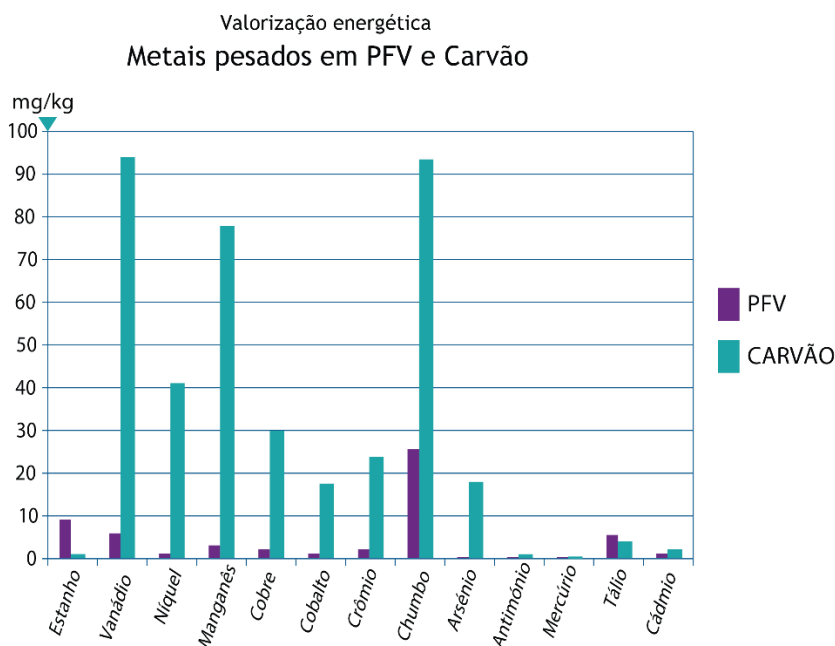


Gráfico 3.1 - Valorização energética: emissões de metais pesados PFV e carvão [2]

Os combustíveis derivados de pneus não apresentam apenas benefícios a nível ambiental, mas também a nível económico. O custo de CDP é, significativamente, inferior ao de combustíveis fósseis como o carvão, coque de petróleo e gás natural, especialmente quando os custos de exploração, produção e transporte de materiais virgens são levados em consideração. O peso, o volume, a distância de transporte e disponibilidade dos PFV são fatores que influenciam o custo associado, sendo que normalmente apresenta um menor custo em relação a combustíveis fósseis [13]. O facto da combustão de pneus resultar em subprodutos recicláveis apresenta uma vantagem a nível dos custos. No caso do coprocessamento há reciclagem do aço no clínquer, evitando assim o custo da adição deste. Na co-incineração o aço resultante é destinado a

indústria siderúrgica, o que implica a redução do custo do pneu. Na indústria siderúrgica o CDP nos fornos de arco elétrico contribui com o aço presente nestes, bem como reduz o custo associado aos agentes redutores. Neste sentido, averigua-se que o CDP apresenta uma grande vantagem a nível dos custos. Não só o seu preço é inferior ao dos combustíveis fósseis e o desempenho semelhante ou mesmo melhor do que estes, bem como os subprodutos da sua combustão são uma fonte de rendimento e reduzem os custos de aquisição de matéria-prima, pois os resíduos podem ser utilizados como substitutos de algumas matérias-primas.

3.3. Aliapur

A Aliapur, fundada em 2002, é a entidade responsável pela gestão de pneus usados em França, tendo por principal finalidade neutralizar os perigos ambientais advindos dos pneus usados e em fim de vida. A longo prazo, objetiva criar uma economia industrial equilibrada fundada nos princípios de eficiência ambiental e equilíbrio económico. Para atender os seus objetivos, esta entidade tem por missão: assumir e garantir a boa execução das obrigações legais e regulamentares dos seus clientes; organizar o sector; desenvolver e otimizar novos processos e métodos de valorização sustentáveis e diversificadas, pelo que em 2004 implementou um programa de investigação industrial como apoio ao desenvolvimento, otimização a longo prazo e diversificar as possibilidades de valorização; e preservar o negócio dos pneus usados de forma a reduzir os custos da eliminação dos pneus usados [43].

Até ao ano de 2009 existia pouca informação relativa aos benefícios ambientais da valorização de pneus em fim de vida (PFV), pelo que no ano de 2008 a Aliapur deu início a estudos de LCA (*Life Cycle Assessment*) de 140mil pneus recolhidos nesse ano (equivalente a 300.309 toneladas de pneus), para nove métodos de valorização de PFV, nomeadamente:

- Quadro métodos de valorização destrutivas: indústria de cimentos, centrais termoelétricas, indústria siderúrgica e indústria de fundição. Destes métodos dois são considerados como valorização energética, designadamente, a valorização na indústria de cimentos e nas centrais termoelétricas, sendo as restantes referentes a valorização dos materiais (reciclagem);
- Cinco métodos de valorização não destrutivas: bacia de retenção e bacia de infiltração (valorização em obras públicas), produtos por moldagem, relvado sintético e pavimentos equestres (reciclagem).

O estudo foi completado em 2009 e publicado em 2010, e tornou possível confirmar inúmeros benefícios ambientais advindas da valorização dos pneus, especificamente, a nível de: consumo de energia primária; emissões de GEE, gases acidificantes e dos gases auxiliares na criação do ozono troposférico; consumo de recursos não renováveis; consumo de água; resíduos que contribuem para eutrofização; e a produção de resíduos (Tabela 3.9) [44].

Tabela 3.9 - Levantamento ambiental de nove métodos de valorização por cada tonelada de PFV valorizado, estudo da Aliapur [44]

		Levantamento ambiental								
		Relvado sintético	Produtos por moldagem	Indústria de cimentos	Indústria siderúrgica	Centrais termoelétricas	Pavimentos equestres	Bacias de retenção	Bacias de infiltração	Indústria de fundição
Indicadores	Consumo total de energia primária (GJ)	-74	-63	-43	-54	-33	-4	-10	0*	-29*
	Emissões de GEE de origem fóssil (diretos, 100 anos) (kg eq. CO ₂)	-3217	-2703	-1466	-672	-1275	-342	-448	-11	-1193
	Emissões de gases acidificantes (g eq. SO ₂)	-10589	-20425	-7031	-2033	-1499	-1557	-1083	18*	-4115*
	Emissões de gases que contribuem para criação de ozônio troposférico (g eq. etileno)	-759	-204	-92	-193	1*	-156	-73	0*	-301*
	Consumo de recursos não renováveis (kg eq. Antimônio)	-33	-26	-21	-26	-17	-3	-4	0	-20*
	Consumo de água (m ³)	-15	-41	-12	-2	0	-28	-1,3	0	-6*
	Resíduos que contribuem para eutrofização (g eq. PO ₄)	-747	-1838	-327	-77	-27	-270	14*	21	-234
	Produção de resíduos (t)	-4	0	0	-1	-1	-29	-	0	-1*
TOTAL		-15438	-25300	-8992	-3058	-2851	-2389	1605,3	28	-5899*

Resultado Levantamento ambiental =
 [impactos gerados nas etapas necessárias para valorização] - [impactos evitados (substituição dos produtos “tradicionais” por PFV)]

* Desvio não significativo quando o resultado global calculado é menor do que o maior dos dois valores seguintes: 10% do total de impactos e 10% do total de impactos evitados

Valorização nas fundições é uma tecnologia emergente, pelo que os resultados apresentados são obtidos de ensaios industriais

Dos resultados dos diversos parâmetros deste estudo é possível averiguar [44]:

- Com base nos resultados dos indicadores ambientais verifica-se que os relvados sintéticos, produtos por moldagem e indústria de cimentos demonstraram ser os métodos de valorização mais vantajosas;
- Bacias de retenção e infiltração são os métodos em que os benefícios são mínimos;

- Os restantes métodos de valorização as suas vantagens se situam num nível intermediário. Os seus benefícios dependem do indicador considerado;
- Os resultados obtidos põem em perspectiva a hierarquia dos resíduos da Diretiva 2008/98/CE, o qual consiste em priorizar a valorização dos materiais, nomeadamente, a reciclagem, em relação à valorização energética. Os maiores benefícios residem em medidas de valorização dos materiais, evitando-se um valor considerável de impactos a nível das emissões de gases, consumo de recursos não renováveis, consumo de energia primária e a geração de resíduos;
- Todos os métodos apresentam benefícios ambientais, independente do indicador ambiental levado em consideração.

3.4. Ecopneus

A Ecopneus scpa. é uma organização sem fins lucrativos para o acompanhamento, recolha, tratamento e eliminação de pneus em fim de vida, criada pelos principais produtores de Pneus na Itália, em concordância com o artigo 228º do Decreto Legislativo 152/2006, o qual compele os produtores e importadores uma responsabilidade alargada na gestão dos pneus usados e em fim de vida. A missão desta entidade abrange todos os aspetos de gestão do sistema, particularmente: identificar todos os pontos de geração de resíduos de pneus; otimizar a logística do sistema; garantir o fornecimento a todos os operadores; promover novas utilizações e aplicações de PFV através de investigações e desenvolvimento de aplicações e mercados que usem os materiais derivados de PFV ; a fim de evitar a dispersão de PFV em canais ilegais, é importante controlar e promover uma comunicação adequada, pelo que há que se monitorizar o sistema e elaborar relatórios [45].

Nos anos de 2013 e 2014 a Ecopneus tratou um total de 238.981 e 256.700 toneladas de PFV, respetivamente. Do total tratado em 2013, 36% (86.929t) foi reciclado como matéria-prima secundária e 64% (152.052t) foi sujeito à valorização energética. Dos pneus valorizados energeticamente nesse ano, 70% foram utilizados no coprocessamento na indústria cimenteira e 30% nas centrais termoelétricas. Da reciclagem foram obtidos principalmente a borracha (71%), o aço (27%) e os resíduos da trituração dos pneus (2%), os quais foram aplicados como materiais em infraestruturas. Por sua vez no ano de 2014, do total dos pneus tratados 64% foram destinados à valorização energética e 36% à reciclagem, mas efetivamente, 41% foi valorizado energeticamente e 59% reciclado, pois os resíduos da combustão dos PFV (aços, cinzas e óxidos) são reciclados, o que implica um aumento da percentagem efetiva de material recuperado dos pneus [46], [47].

No que diz respeito aos impactos e benefícios ambientais e económicos do sistema nos anos de 2013 e 2014, estes foram positivos, tendo-se evitado emissões de GEE devido ao não uso de

recursos fósseis, poupou-se recursos materiais e hídricos, o que por sua vez implica redução de custos ao longo da cadeia.

3.4.1. Resultados ano 2013¹

No ano de 2013 a Ecopneus evitou 74 toneladas de emissão de substâncias poluentes no sistema hídrico e 347 mil toneladas de emissões de GEE, bem como poupou-se 1,3 milhões de m³ de água e 3,2bilhões kWh de energia. O resultado económico foi positivo, tendo-se gerado um valor económico de 74 milhões de euros com uma poupança de 110 milhões de euros em matéria-prima.

No que concerne às emissões dos GEE, nesse ano os impactos foram na ordem dos 236mil tCO₂eq, dos quais 83% foram provenientes da combustão dos pneus em processos de valorização energética, 9% referentes à logística e 7% da trituração dos pneus. Os impactos por tipo de processo de valorização energética foram principalmente a nível da combustão, com emissões de 135,9mil tCO₂eq no coprocessamento e 60,8 mil tCO₂eq na produção de energia elétrica. Por sua vez na reciclagem as emissões foram maioritariamente da trituração (67%), seguida da logística (19%). Para além dos impactos, foi possível evitar a emissão de um total de 583mil tCO₂eq de GEE, dos quais 59% é proveniente do consumo energético evitado, 14% do aço não utilizado e os restantes 27% da borracha não utilizada. Das emissões evitadas da energia não empregada os resultados são advindas dos processos de valorização energética, do qual 292,3mil tCO₂eq é referente ao coprocessamento e 52,1mil tCO₂eq da incineração. Efetuando-se um balanço ente os impactos e os benefícios verifica-se que foi evitado um total de 347mil tCO₂eq de emissões de GEE, dos quais 51% são referentes à valorização energética (Tabela 3.10). Então por cada tonelada de pneu reciclado foi evitado 1,96 tCO₂eq, por cada tonelada de pneu valorizado energeticamente foi evitado 1,75 tCO₂eq.

Tabela 3.10 -Emissões de GEE da Ecopneus em 2013 [46]

	Emissões de GEE em 10 ³ tCO ₂ eq								Balanço
	Impactos				Benefícios				
	Combustão	Logística	Trituração	Total	energia não utilizada	Aço não utilizado	Borracha não utilizada	Total	
Recuperação material	—	4.1	11.9	16	—	-29.2	-156.6	-185.8	-169.8
Coprocessamento	135.9	15.5	5.7	157.1	-292.3	-35.8	—	-328.1	-171
Incineração centrais termoelétricas	60.8	2.2	0.1	63.1	-52.1	-17.2	—	-69.3	-6.2
Total	196.7	21.8	17.7	236.2	-344.4	-82.2	-156.6	-583.2	-347

¹ Dados de acordo com o Relatório de Sustentabilidade do ano 2013 da Ecopneus [46].

Através da criação de um cenário hipotético de um Sistema de Gestão de PFV sem valorização dos recursos materiais ou energéticos, a Ecopneus comparou os seus resultados a nível de emissões de GEE. Os resultados demonstraram que Ecopneus conseguiu evitar 347.214 tCO₂eq enquanto a ausência de valorização tem um impacto de aproximadamente 411.080 tCO₂eq, o que implica que a valorização de PFV consegue evitar quase 760mil tCO₂eq de emissões de GEE.

Para além da redução das emissões de GEE, a valorização de PFV permite a poupança de energias não renováveis. Cerca de 260 milhões kWh são despendidos na recolha, transporte e tratamento dos PFV, em contrapartida a sua valorização evita o consumo de 3,4 bilhões kWh de energia, sendo a principal razão o não uso do coque de petróleo, do aço, borracha e outros componentes. Portanto, foi possível evitar o consumo de 3,2 bilhões kWh, dos quais 50% é da reciclagem de materiais, 34% do coprocessamento e 16% da coíncineração. Então por cada tonelada de PFV valorizados em média é poupado 36 mil kWh, sendo que 18 mil kWh são da reciclagem, 12 mil kWh do coprocessamento e 6 mil kWh da incineração.

Quanto ao consumo de água, em todas as atividades relativas à recolha e valorização de PFV no sistema da Ecopneus foi possível uma redução significativa na utilização direta e indireta de recursos hídricos, nomeadamente, o balanço entre o consumo de 120 mil m³ ao longo da cadeia de valorização e a poupança 1.45 milhões m³ de água induzida pela valorização dos recursos materiais e energéticos é equivalente a 1.3 milhões m³ de água não utilizada. Neste cenário a maior contribuição vem da reciclagem dos materiais dos pneus, sendo que das 87 mil toneladas de PFV reciclados quase 700 mil m³ de água foram poupados. Da valorização energética foi possível evitar o consumo de cerca de 750 mil m³ de água, os quais são principalmente do coprocessamento na indústria cimenteira, representando cerca de 78% (Tabela 3.11). Então por cada tonelada de PFV foi poupado 7,9 m³ na reciclagem, 4,8 m³ no coprocessamento e 3,2 m³ na produção de energia elétrica.

Tabela 3.11 - Consumo de água Ecopneus em 2013 [46]

	Consumo de água em 10 ³ m ³								Balanço
	Impactos				Benefícios				
	Logística	Trituração	Combustão	Total	energia não utilizada	Aço não utilizado	Borracha não utilizada	Total	
Recuperação material	12	11	–	11	–	-185	-512	-697	-686
Coprocessamento	45	5	28	78	-360	-226	–	-586	-508
Incineração centrais termoelétricas	6	–	13	19	-49	-117	–	-166	-147
Total	63	16	41	120	-409	-528	-512	-1449	-1341

Como já visto anteriormente, os pneus apresentam grande risco para o ambiente a nível da lixiviação e poluição das águas, solos, e mesmo afetando ecossistemas. Neste sentido um sistema de gestão de PFV adequado acarreta benefícios, prevenindo a poluição por nutrientes, a emissão de substâncias tóxicas e a transformação de solos. No ano de 2013 a Ecopneus conduz o estudo de sustentabilidade do seu sistema não só considerando as emissões de GEE e o consumo de recursos, mas também do ponto de vista da salvaguarda da biodiversidade, pelo que através do estudo ao longo da cadeia de impactos dos PFV a Ecopneus considera três indicadores no ciclo de vida dos pneus: poluição de nutrientes nos sistemas aquáticos, espécies em risco de extinção devido às mudanças induzidas pelo uso do solo, e emissões de substâncias tóxicas no ambiente.

A nível da poluição de nutrientes nas massas de água, este parâmetro diz respeito ao aumento da quantidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, o qual leva ao fenómeno de explosão da concentração de algas ou à redução do oxigénio dissolvido na água, o que terá como resultado a degradação de do ecossistema com perda de biodiversidade, ou seja, o processo denominado de eutrofização. De acordo com análise efetuada pela Ecopneus, dos 247mil toneladas de pneus valorizados foi possível prevenir a entrada no ambiente de 74 tPeq (*tone of equivalent phosphorus* - toneladas equivalentes de fósforo). O maior benefício foi da valorização energética, que permitiu a prevenção de aproximadamente 38 tPeq (45% coprocessamento e 55% produção energia elétrica). Não menos importante, a valorização dos materiais também preveniu grande fração do total de emissões de nutrientes nos ambientes aquáticos, representando 49% do total de nutrientes prevenidos (Tabela 3.12). No entanto, as análises efetuadas pela Ecopneus têm um carácter preliminar, pelo que são necessários mais estudos para confirmar a coerência e fiabilidade dos resultados.

Tabela 3.12 - Alterações de ecossistemas aquáticos, Ecopneus (2013) [46]

	Nutrientes em massas de água em tPeq								Balanço
	Impactos				Benefícios				
	Logística	Trituração	Combustão	Total	energia não utilizada	Aço não utilizado	Borracha não utilizada	Total	
Recuperação material	0.5	3.4	–	3.9	–	-13.82	-25.94	-39.76	-35.86
Coprocessamento	1.71	1.64	4.52	7.87	-7.85	-16.88	–	-24.73	-16.86
Incineração centrais termoelétricas	0.25	0.04	2.02	2.31	-15.01	-8.27	–	-23.28	-20.97
Total	2.46	5.08	6.54	14.08	-22.86	-38.97	-25.94	-87.77	-73.69

Quanto ao risco da transformação dos solos, este indicador mede o impacto produzido por certas atividades em termos da ocupação e transformação no uso de solos, tais como a extração de minérios ou o desenvolvimento de infraestruturas logísticas. Da valorização dos PFV em 2013, a Ecopneus evitou a extinção de 1,57 espécies por ano – resultado do balanço entre os impactos na biodiversidade gerados durante as fases de transporte e tratamento (perda de 0,65 espécies/ano) e os benefícios derivados das atividades de valorização (prevenção da extinção de 2,2 espécies/ano). O maior contribuinte para os impactos é o transporte, o qual é responsável por três quartos dos impactos, enquanto a maior contribuição a nível de benéficos provem da recuperação dos materiais, seguido pela valorização energética na indústria cimenteira e centrais termoelétricas, respetivamente.

No que se refere às emissões de substâncias tóxicas para o ambiente, este parâmetro indica a emissão de substâncias ecotóxicas e que possam ser nocivas para espécies únicas (espécies animais e vegetais) de um determinado ecossistema e, portanto, capazes de modificar a estrutura e funcionamento do mesmo ecossistema. Quanto aos resultados da Ecopneus, no ano de 2013 conseguiu evitar a emissão de 1,2 milhões de CTUe (*Comparative Toxic Unit for ecosystems*), dos quais 65% são provenientes da recuperação de materiais de PFV.

3.4.2. Resultados ano 2014²

No ano de 2014 a Ecopneus demonstrou resultados positivos, tendo conseguido evitar a emissão de cerca e 343 mil tCO₂, o uso de 377 mil toneladas de material e o consumo de 1.8 milhões de m³ de água. Para além disso, do ponto de vista económico entraram 65.6 milhões de euros das contribuições e conseguiu evitar 105 milhões de euros através da reciclagem da borracha e do aço (95%), da substituição do coque de petróleo para PFV na indústria cimenteira (4%), e da incorporação do aço do PFV no clínquer (1%).

Relativamente às emissões de carbono, do total de pneus recolhidos e valorizados nesse ano, foram gerados 259 mil tCO₂, dos quais 213.800 tCO₂ (83%) são referentes à combustão dos PFV como combustível alternativo (60% no coprocessamento e 23% na produção de energia elétrica), 7% do transporte, 2% da recolha, 8% da trituração (6% granulação e 2% da trituração em chips). Também foi possível evitar emissões na ordem dos 602 mil tCO₂, dos quais 36% são da matéria-prima não utilizada substituída pelos materiais reciclados dos PFV. Dos 64% referentes à valorização energética, 56% são da energia térmica evitada e os restantes da energia elétrica evitada. Do balanço entre os impactos e benefícios, verifica-se que da valorização dos PFV foi, efetivamente, possível prevenir a emissão de 343 mil tCO₂eq (Gráfico 3.2).

² Dados de acordo com o Relatório de Sustentabilidade do ano 2014 da Ecopneus [47].

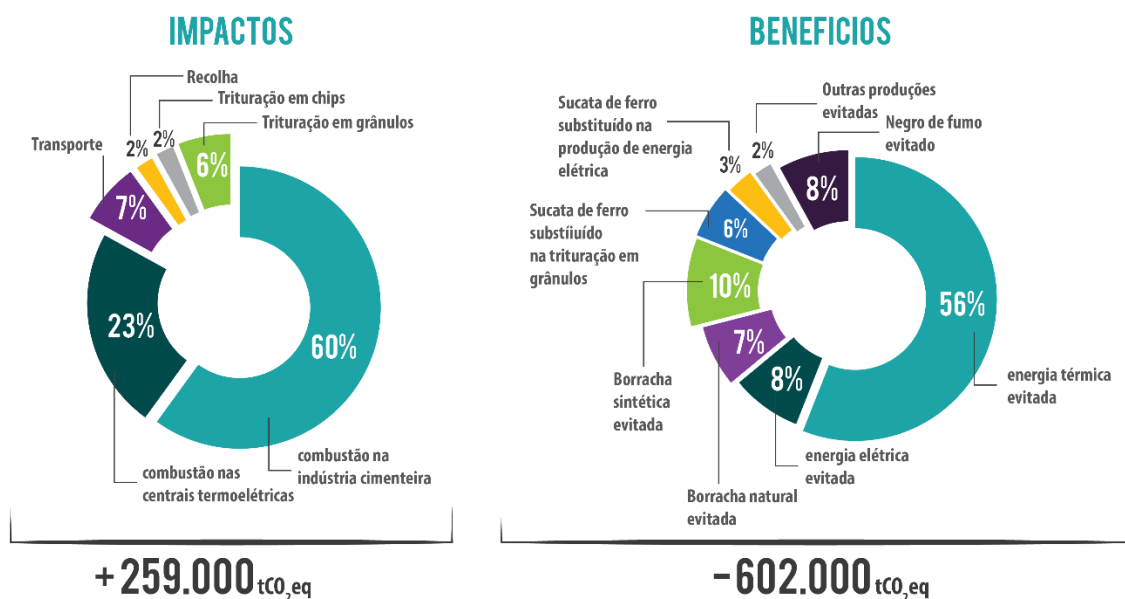


Gráfico 3.2 - Emissões de GEE da Ecopneus em 2014 [47]

Através da criação de um cenário hipotético de um Sistema de Gestão de PFV sem valorização dos recursos materiais ou energéticos, a Ecopneus comparou os seus resultados a nível de emissões de GEE. Os resultados demonstraram que Ecopneus conseguiu evitar 343 mil tCO₂eq enquanto a ausência de valorização tem um impacto de aproximadamente 448 mil tCO₂eq, o que implica que a valorização de PFV consegue evitar quase 791 mil tCO₂eq de emissões de GEE.

Quanto à pegada dos materiais – *material footprint*, mede o fluxo total de recursos minerais e fósseis extraídos durante todo processo produtivo de um determinado bem ou serviço ao longo do seu ciclo de vida –, a valorização dos PFV permitiu que fossem evitados, efetivamente, a utilização de cerca de 377 mil toneladas de recursos (balanço entre os impactos e benefícios). Foram consumidas 58,8 mil toneladas de recursos ao longo da cadeia logística e de valorização de PFV, dos quais 52% foram na recolha e transporte logístico (maioritariamente combustíveis fósseis consumidos), 31% na valorização energética, e apenas 17% na recuperação dos materiais. Por sua vez, foi possível evitar o consumo de 435,7 mil toneladas de recursos, dos quais mais de 60% são relativos à recuperação dos materiais, e apenas cerca de 34% são referentes ao consumo evitado dos recursos energéticos da valorização energética dos PFV, maioritariamente, recursos fósseis (Gráfico 3.3).

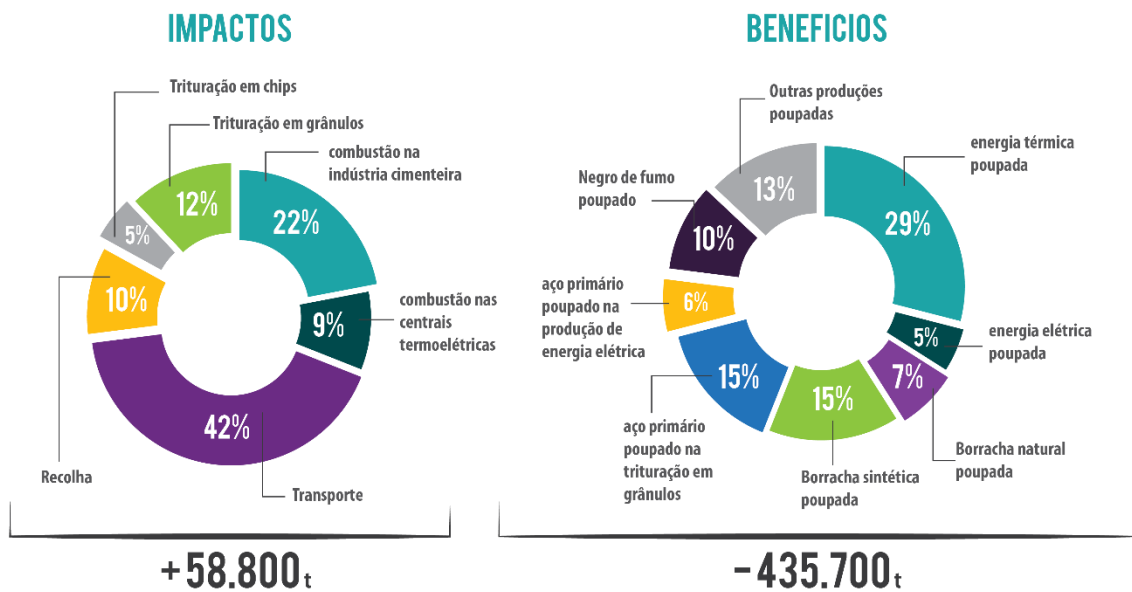


Gráfico 3.3 - Material footprint da Ecopneus em 2014 [47]

Relativamente à pegada de água - *water footprint*, avalia os impactos de recursos hídricos, nomeadamente, o seu consumo, utilização e poluição associada à produção de um determinado bem e serviço ao longo do seu ciclo de vida –, da valorização dos PFV em 2014 a Ecopneus conseguiu, efetivamente, evitar o consumo ou poluição de 1,83 milhões de m³ de água doce. Os impactos relativos às atividades de recolha, transporte e valorização dos PFV, foi de 580 mil m³ de água, dos quais quase 60% são relativos aos processos de combustão controlada para valorização energética. Por sua vez, foi possível evitar o consumo de 2,41 milhões de m³ de água, dos quais mais de 60% são referentes aos materiais não utilizados (recuperação dos materiais), e cerca de 36% das energias térmicas e elétricas evitadas (Gráfico 3.4).

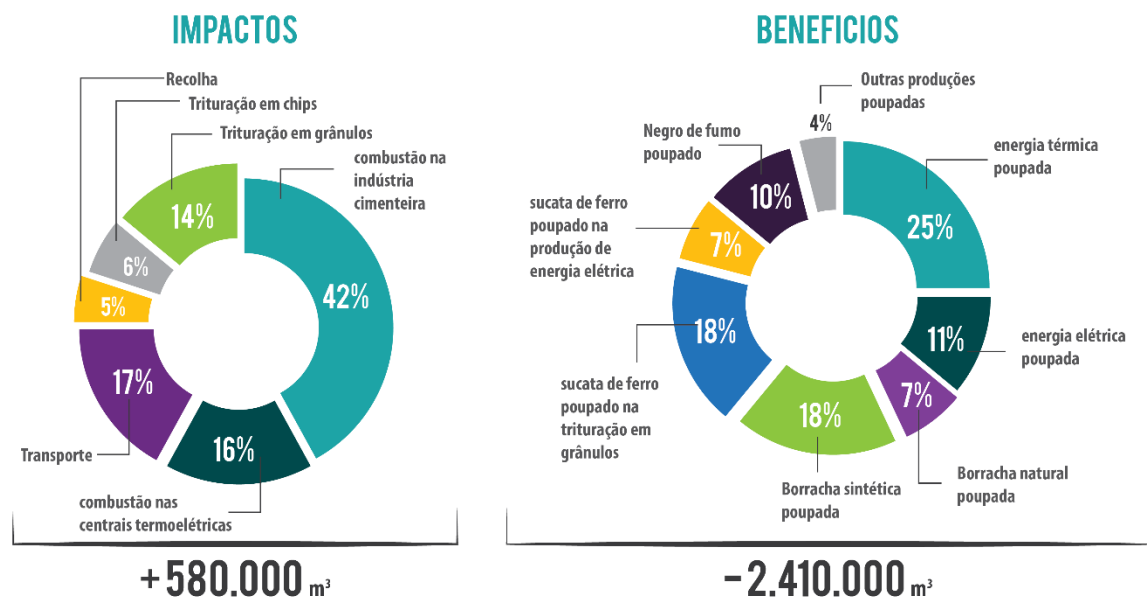


Gráfico 3.4 - Water footprint da Ecopneus em 2014 [47]

3.5. Discussão

Através de uma comparação entre os resultados obtidos da valorização de pneus em fim de vida pela Aliapur em 2009 e a Ecopneus em 2013 e 2014, é possível observar:

- Os resultados da Aliapur e da Ecopneus nos anos diferentes são semelhantes, apresentando a mesma tendência, impactos inferiores aos benefícios ambientais. Sendo os resultados de períodos diferentes, logo os resultados da Ecopneus corroboram com as encontradas anteriormente pela Aliapur.
- A nível das emissões de GEE, tanto na Aliapur como na Ecopneus, a reciclagem de materiais apresenta mais benefícios. Analisando os resultados da Ecopneus em 2013, verifica-se que o impacto advindo da recuperação dos materiais é, consideravelmente, inferior aos benefícios, sendo os impactos cerca de 93% inferior em relação à valorização energética. Todavia a valorização energética evita, sensivelmente, 68% das emissões em relação à reciclagem dos materiais. Quanto aos resultados da Ecopneus em 2014, a tendência é a mesma dos resultados de 2013, a recuperação dos materiais apresenta emissões de cerca de 45,2 mil tCO₂, sendo as emissões evitadas mais do que o quádruplo dos impactos. Por sua vez, os benefícios da valorização energética são de apenas cerca do dobro dos impactos do mesmo.
- Da comparação dos resultados da Ecopneus com um sistema sem valorização de pneus em fim de vida, verifica-se que um sistema de gestão com valorização de PFV, consegue reduzir as emissões de GEE até 200%, pois para além da minimização das emissões GEE das etapas do processo de valorização, também evita emissões da não utilização de energia e demais materiais.
- Relativamente às emissões de gases acidificantes e gases que contribuem para a criação do ozono troposférico, os resultados do estudo conduzido pela Aliapur demonstram que em qualquer um dos nove métodos de valorização de material e energética evita-se a emissão desses gases. Porém, a recuperação dos materiais evita uma quantidade superior de emissões em relação à valorização energética.
- Quanto ao consumo dos recursos não renováveis, tanto dos resultados da Aliapur como os da Ecopneus demonstraram que em qualquer um dos métodos de valorização dos PFV evita-se o consumo desses recursos, sendo os benefícios advindos da recuperação dos materiais superior aos da valorização energética. É de se fazer notar que os benefícios da valorização energética são, principalmente, do não consumo e utilização de recursos fósseis, nomeadamente, combustíveis fósseis. A substituição dos recursos energéticos fósseis por PFV permite a obtenção de resultados idênticos a esses recursos, com o

mínimo de impactos, pois evita-se os impactos advindos da extração, exploração e utilização. Para além disso, o custo dos PFV é inferior ao dos combustíveis fósseis. Nota-se então que o uso de PFV possibilita o não uso de energias primárias, nomeadamente, as de origem fóssil. A valorização energética dos PFV permite uma poupança energética significativa, segundo a Ecopneus, por cada tonelada de PFV valorizado energeticamente é possível evitar um consumo energético de mais de 30mil kWh. Tanto os resultados da Aliapur como o da Ecopneus em 2013, demonstram que apenas no coprocessamento é possível evitar um consumo de 12 mil kWh / 43GJ por cada tonelada de PFV.

- Com respeito ao consumo de água, em ambos a Aliapur e a Ecopneus há uma poupança deste recurso. No entanto os resultados de 2013 da Ecopneus demonstram que por cada tonelada de PFV valorizado o consumo de água evitado é, aproximadamente, o mesmo para a reciclagem dos materiais e para a valorização energética, enquanto no estudo da Aliapur há uma maior poupança na reciclagem. Embora os resultados sejam ligeiramente diferentes, tanto os resultados da Aliapur como os da Ecopneus demonstram que para qualquer método de valorização evita-se o consumo de água, sendo que na reciclagem é devido ao material poupado e na valorização energética à energia poupada. É importante referir que os resultados de 2014 da Ecopneus relativos a *water footprint* engloba tanto o consumo de água como a poluição dos recursos hídricos evitada.
- A nível da eutrofização, ambos a Aliapur como a Ecopneus demonstram que os impactos são inferiores aos benefícios, ou seja, da valorização dos PFV é possível evitar a emissão de nutrientes para as massas de água, evitando assim a eutrofização. No resultado da Ecopneus em 2013 a recuperação dos materiais e a valorização energética apresentam benefícios idênticos, com quase o mesmo peso no quadro global dos nutrientes evitados, enquanto que dos resultados da Aliapur a recuperação dos materiais apresenta benefícios superiores, nomeadamente, a reciclagem dos materiais em produtos por moldagem. Tanto na Aliapur como na Ecopneus, o coprocessamento é o método de valorização energética que apresenta maiores benefícios, representando mais de 60% do total dos nutrientes evitados da valorização energética. É importante referir que no estudo da Aliapur a valorização dos PFV em obras públicas (bacias de retenção e de infiltração) os impactos são superiores aos benefícios, pois os PFV reciclados encontram-se constantemente em contacto com massas de água o que acabará por levar a alguma lixiviação por parte destes, mas em valores reduzidos.
- Respeitante à transformação de solos e à ecotoxicidade, apenas os resultados da Ecopneus em 2013 estudam estes indicadores ambientais. Dos resultados da Ecopneus, nota-se que da valorização dos PFV foi possível evitar a extinção de espécies e a emissão

de mais de um milhão de CTUe, dos quais mais de 60% são relativos à reciclagem, mas a valorização energética continua a representar uma percentagem considerável do total dos benefícios globais das emissões de substâncias tóxicas.

- No que concerne à produção de resíduos, como é de se esperar, a valorização permite não só a redução dos resíduos bem como evita a sua criação. Como por exemplo, ao invés de gerar resíduos de matéria-prima há a utilização de resíduos para substituição dessa matéria-prima, implicando assim a redução dos resíduos gerados num sistema. No caso da valorização energética, na maioria dos métodos de valorização energética (coprocessamento, indústria siderúrgica) acontece ao mesmo tempo a valorização dos recursos materiais e energéticos do PFV, assim como ocorre a eliminação. O coprocessamento simplesmente não gera resíduos, pois todos os materiais são incorporados no clínquer. Quanto à produção de energia elétrica, os resíduos resultantes do processo são reciclados, o que implica o máximo aproveitamento dos recursos materiais.

A título de resumo, a valorização de PFV é sempre vantajosa, tendo sempre benefícios ambientais. Tanto os resultados da Aliapur como os da Ecopneus demonstram e confirmam que os resultados da recuperação de material dos PFV são consideravelmente superiores aos da valorização dos PFV como combustível alternativo na produção de energia. Neste sentido, os resultados das Aliapur e da Ecopneus reafirmam a hierarquia de gestão de resíduos da Diretiva 2008/98/CE, no qual prioriza-se a reciclagem em relação à valorização energética. No entanto é de se fazer notar que, efetivamente, a reciclagem não apresenta melhores resultados em relação à valorização energética. Por exemplo, a nível de poupança de recursos energéticos fósseis, a valorização energética apresenta benefícios superiores à reciclagem dos materiais, pois o PFV substitui estes recursos energéticos, evitando a sua utilização. Outro ponto a notar é a existência da valorização dos materiais nos processos de valorização energética dos PFV, no caso do coprocessamento há ao mesmo tempo a reciclagem dos materiais, valorização energética e eliminação dos resíduos. De um modo geral, a reciclagem e a valorização energética apresentam resultados semelhantes, com benefícios ambientais muito atrativos, principalmente, a nível das emissões de GEE, pegada dos materiais e consumo de energias primárias.

3.6. Nota Conclusiva

Com o exposto ao longo deste capítulo, foi possível averiguar que os pneus apresentam uma composição e propriedades físicas que os tornam atrativos para aplicação como combustível alternativo e substitutos de algumas matérias-primas, como é o caso do aço e da borracha. No entanto a má gestão dos resíduos dos pneus tem elevados riscos para o ambiente e a saúde pública. Neste sentido a valorização dos pneus não é apenas uma forma de aproveitamento,

mas sim necessário para prevenção dos riscos da má gestão dos pneus, aumento o ciclo de vida dos pneus, e a máxima recuperação dos recursos materiais e energéticos presentes nos pneus. Por outras palavras, a gestão de pneus deve ser focada na prevenção, redução, reciclagem, valorização energética e por fim eliminação, tal como a hierarquia da gestão de resíduos.

No que diz respeito à valorização dos pneus em fim de vida, é possível averiguar que qualquer método de valorização é vantajoso, com benefícios ambientais superiores aos impactos. Os benefícios da recuperação dos materiais são superiores aos da valorização energética, permitindo o máximo de recuperação dos recursos materiais dos PFV. A valorização energética apresenta benefícios inferiores aos da reciclagem, e todos os métodos de valorização energética são de carácter destrutivo, ocorrendo sempre ao mesmo tempo a eliminação e valorização energética, o que implica que não há o máximo de aproveitamento dos recursos materiais. No entanto, a valorização energética dos PFV na indústria cimenteira e siderúrgica permite que ocorra a valorização dos materiais, a valorização energética e a eliminação devido às altas temperaturas dos fornos.

Em suma, a valorização de PFV evita emissões de gases de efeito estufa, gases acidificantes e substancia tóxicas, bem como permite a poupança de recursos materiais e energéticos encontrados na natureza, prevenindo os impactos advindos da exploração desses recursos naturais. No caso concreto da valorização energética, é possível a produção da mesma ou mais quantidade de energia que combustíveis fósseis, com um menor custo associado e impactos ambientais, bem como ocorre simultaneamente a reciclagem de materiais, a valorização energética e eliminação de resíduos. A valorização de PFV também evita o consumo de água e a sua poluição, assim como salvaguarda as massas de águas através do não auxílio na eutrofização, o que consequentemente levará à proteção de ecossistemas e da biodiversidade.

Referências

- [1] ETRMA, “ETRMA Annual Report 2013/2014,” 2014.
- [2] ETRMA, “End of life tyres - A valuable resource with growing potential,” 2011.
- [3] C. A. F. Lagarinhos and J. A. S. Tenório, “Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil,” *Polímeros*, vol. 18, no. 2, pp. 106-118, 2008.
- [4] C. A. F. Lagarinhos, “Reciclagem De Pneus : Análise Do Impacto Da Legislação Ambiental Através Da Logística Reversa,” Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.
- [5] Basel Convention, “Revised technical guidelines for the environmentally sound management of used and waste pneumatic tyres,” 2013.
- [6] V. Torretta, E. C. Rada, M. Ragazzi, E. Trulli, I. A. Istrate, and L. I. Cioca, “Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review,” *Waste Manag.*, 2015 [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X1500313X>
- [7] RightTurn, “Tire Facts.” [Online]. Available: <https://www.rightturn.com/tire-facts/>.

[Accessed: 11-May-2015]

- [8] Valorpneu, “Componentes e Características de um Pneu.” [Online]. Available: http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=221&name=Componentes-e- Caracteristicas-de-um-Pneu. [Accessed: 10-May-2015]
- [9] 3Drivers and IST - Instituto Superior Técnico, “Balanço Ambiental , Económico e Social da Gestão de Pneus Usados,” 2013.
- [10] UNIVAR, “Guia Técnico de Elastômeros,” Lisboa. UNIVAR Brasil, São Paulo - Brasil.
- [11] D. A. G. Pedro, “Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus,” Instituto Superior Técnico - UTL, 2011.
- [12] VDZ, “Environmental Data of the German Cement Industry,” 2012.
- [13] WBCSD, “Managing End-of-Life Tires,” 2008 [Online]. Available: <http://www.bir.org/assets/Documents/industry/ManagingEndOfLifeTyres.pdf>
- [14] Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, “Decreto-Lei 111/2001,” *Diário da República - I Série-A*, no. 82, pp. 2046-2050, 2001.
- [15] MWH, “End-of-Life Tyre Management : Storage Options,” Dunedin, 2004 [Online]. Available: <http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/end-of-life-tyre-management.pdf>
- [16] WHO, “Yellow fever,” 2014. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs100/en/>. [Accessed: 04-Jun-2015]
- [17] WHO, “Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention, and control,” *Spec. Program. Res. Train. Trop. Dis.*, p. 147, 2009.
- [18] WHO, “Malaria,” 2015. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/>. [Accessed: 04-Jun-2015]
- [19] WHO, “Zika Virus,” 2016. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/zika/en/>. [Accessed: 18-Sep-2016]
- [20] P. Lima, “Pneus são descartados em terreno de Bernardino de Campos, SP,” TV TEM, Brasil, 2013 [Online]. Available: <http://g1.globo.com/sao-paulo/itapetininga-regiao/noticia/2013/02/pneus-sao-descartados-em-terreno-de-bernardino-de-campos-sp.html>
- [21] J. Gathany, “Public Health Image Library (PHIL) - #9261.” 2006 [Online]. Available: http://phil.cdc.gov/phil/details_linked.asp?pid=9261
- [22] A. Wik and G. Dave, “Environmental labeling of car tires-toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method,” *Chemosphere*, vol. 58, no. 5, pp. 645-651, 2005.
- [23] C. Marwood, B. McAtee, M. Kreider, R. S. Ogle, B. Finley, L. Sweet, and J. Panko, “Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish,” *Ecotoxicology*, vol. 20, no. 8, pp. 2079-2089, 2011.
- [24] ETRMA, “Producer responsibility.” [Online]. Available: <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELTmanagement/>. [Accessed: 12-Sep-2016]
- [25] Aliapur, “REGULATION - How things work in Europe.” [Online]. Available: <https://www.aliapur.fr/en/regulation/how-things-work-europe>. [Accessed: 12-Sep-2016]

- [26] Valorpneu, “Conheça o Sistema SGPU Modelo Operacional e Financeiro,” 2016. [Online]. Available: http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=74&name=Modelo-Operacional-e-Financeiro. [Accessed: 12-Sep-2016]
- [27] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008,” *J. Of. da União Eur.*, 2008.
- [28] Conselho da União Europeia, “Directiva 1999/31/CE de 29 de Abril de 1999,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, 1999.
- [29] M. Gharfalkar, R. Court, C. Campbell, Z. Ali, and G. Hillier, “Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC,” *Waste Manag.*, vol. 39, pp. 305-313, 2015 [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- [30] Valorpneu, “Soluções para Pneus Usados - Reutilização para outros fins.” [Online]. Available: http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=224&name=Reutilizacao-para-Outros-Fins. [Accessed: 09-Jun-2015]
- [31] G. Ramos, F. J. Alguacil, and F. a. López, “The recycling of end-of-life tyres. Technological review,” *Rev. Metal.*, vol. 47, no. 3, pp. 273-284, 2011.
- [32] H. M. da Costa, L. L. Y. Visconte, R. C. R. Nunes, and C. R. G. Furtado, “Aspectos históricos da vulcanização,” *Polímeros*, vol. 13, no. 2, pp. 125-129, 2003.
- [33] K. Reschner, “Scrap Tire Recycling,” *Scrap Tire Recycling Europe*, 2008. [Online]. Available: http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf. [Accessed: 09-Jun-2015]
- [34] Recipneu, “Listagem de Produtos.” [Online]. Available: <http://www.recipneu.com/artigo.aspx?cntx=456ksynjeVREGbyAzzVRTPztMpP5kx1ikQ2lmuPiOk2udEjf3ohGTxi48KlkRPXF>. [Accessed: 09-Jun-2015]
- [35] E. Laboy-Nieves, “Energy Recovery from Scrap Tires: A Sustainable Option for Small Islands like Puerto Rico,” *Sustainability*, vol. 6, no. 5, pp. 3105-3121, 2014 [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/2071-1050/6/5/3105/>
- [36] Votorantim Cimentos, “Coprocessamento.” [Online]. Available: <http://www.votorantimcimentos.com.br/htms-ptb/Responsabilidade/Coprocessamento.htm>. [Accessed: 10-Jun-2015]
- [37] M. J. Brenhas, R. Machado, M. a P. Dinis, and N. Barros, “Co-Incinerção em Fornos de Cimenteiras. Análise de Caso,” *Rev. da Fac. Ciência e Tecnol.*, vol. 6, no. 2009, pp. 82-94, 2009 [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10284/1340>
- [38] European Commission, “Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement , Lime and Magnesium Oxide,” 2013.
- [39] J. Richards, D. Goshaw, D. Speer, and T. Holder, “Air emissions data summary for Portland cement pyroprocessing operations firing tire-derived fuels,” 2008 [Online]. Available: <http://epa.gov/epawaste/conservation/materials/tires/pubs/tdf-report08.pdf>
- [40] Stockholm Convention, *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. 2001 [Online]. Available: http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf
- [41] Deltaway Energy, “Waste-to-Energy: How It Works.” [Online]. Available: <http://www.deltawayenergy.com/wte-tools/wte-anatomy/>. [Accessed: 27-Jul-2016]

- [42] Aliapur, "Using used tyres as an alternative source of fuel - reference values and characterisation protocols," 2009.
- [43] Aliapur, "The company." [Online]. Available: <https://www.aliapur.fr/en/company/what-aliapu>. [Accessed: 30-Aug-2016]
- [44] Aliapur, "LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 9 RECOVERY METHODS FOR END-OF-LIFE TYRES," 2010 [Online]. Available: http://www.aliapur.fr/pdf/lca_-_reference_document_1.pdf
- [45] Ecopneus, "Mission and Objectives." [Online]. Available: <http://www.ecopneus.it/en/chisiamo/mission-and-objectives.html>. [Accessed: 20-Sep-2016]
- [46] Ecopneus, "Ecopneus Green Economy - Sustainability Report 2013," 2013 [Online]. Available: http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus_sustainability_Report_2013.pdf
- [47] Ecopneus, "Ecopneus in the Green Economy - 2014 Sustainability Report," 2014 [Online]. Available: http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus_Report_2014.pdf

Capítulo 4

4. Caso de estudo: Resíduos têxteis industriais

4.1. Nota Introdutória

Há milénios que os seres humanos utilizam fibras e têxteis, por exemplo sob a forma de vestuário, o qual representa grande fração da produção têxtil, por ser o mais comum. As fibras e os têxteis são aplicados em diferentes tipos de produtos, nomeadamente, vestuário, aplicações médicas, têxtil lar, enchimentos diversos, e entre muitos outros. A sua vasta aplicabilidade deve-se principalmente às suas propriedades mecânicas, tais como a tenacidade, deformação, o módulo elástico, os quais podem ser ajustados apenas com alterações da razão entre superfície e massa [1]. Dito isto, verifica-se que, conseqüentemente, a indústria têxtil irá representar grande fração das indústrias, e dos resíduos gerados a nível industrial. Considerando apenas o nível de exportação, em 2014 a indústria têxtil mundial representava cerca de 5%, sendo apenas ultrapassado pela indústria automobilística [2].

Dada a importância da indústria têxtil e o seu peso no sector industrial, o presente capítulo tem por objetivo demonstrar os benefícios da valorização energética dos resíduos sólidos têxteis localmente nas instalações e nos processos industriais. Neste sentido, primeiramente, é efetuada um breve enquadramento teórico da temática. Seguidamente, de modo a demonstrar os benefícios da valorização energética dos resíduos têxteis industriais, é apresentado um caso de estudo conduzido por Leonel J. R. Nunes, João C. O. Matias e João P. S. Catalão numa indústria têxtil portuguesa, a qual consiste numa análise técnico-económica da combustão controlada de resíduos destinados ao aterro para produção de energia térmica utilizada nos processos.

4.2. Enquadramento teórico

A indústria têxtil representa um dos sectores mais importantes em Portugal, representando cerca de 10% do total do volume de exportações, 19% do emprego da indústria transformadora, 8% do volume de negócios e da produção da indústria transformadora [3]. Este sector tem um carácter maduro e fragmentado, e está sujeito a permanentes não conciliações entre a oferta e a procura, o que leva o seu desempenho estar fortemente condicionado pelas flutuações na economia mundial. O futuro do sector têxtil, tanto a nível europeu como português, é afetado por diversos fatores, tais como R&D, inovação, design, qualidade, distribuição e logística, e a internacionalização dos seus produtos [4].

Em Portugal a Indústria Têxtil está geograficamente concentrada na região norte, centro e Lisboa. A região do Vale do Ave tem uma tradição de manufatura de cerca de 150 anos, sendo o sector têxtil a maior fonte de empregos na região, e é onde está concentrado o maior número de empresas têxteis do país. De um modo geral, a distribuição geográfica atual da indústria têxtil portuguesa está relacionada com a disponibilidade de mão-de-obra qualificada e de acesso às matérias-primas, o que demonstrou ser uma vantagem competitiva neste sector [4].

No que diz respeito ao processamento têxtil, este envolve a fiação, tecelagem ou malharia, tratamento prévio ou preparação, tingimento, estampagem e o acabamento final (Figura 4.1). A fiação é uma das primeiras etapas, e consiste, principalmente, em operações mecânicas de estiragem, paralelização e torção para formação dos fios, ou seja, é a transformação de uma grande quantidade de fibras individuais desordenadas e de comprimento reduzido, num produto linear, ordenado e de grande comprimento [5]. A tecelagem e a malharia são das etapas secundárias da cadeia, sendo ambos processos de carácter mecânico, consistindo no entrelaçamento perpendicular de dois ou mais sistemas de fios paralelos, e no entrelaçamento do conjunto de fios da teia (sentido comprimento) ou da trama (sentido da largura) através da formação de lacetes, respetivamente [6]-[9].

Por sua vez, as operações de preparação, tingimento, estampagem e acabamento final podem ser consideradas como o conjunto de operações da ultimização têxtil, também denominado de enobrecimento têxtil [10]. Estas operações têm por intuito a preparação do tecido ou malha para confeção, e consiste em processos com um elevado consumo de água, sendo os resíduos gerados líquidos, isto é, efluentes, e apenas uma percentagem desprezível de resíduos sólidos [11]. O tratamento prévio, genericamente designado de branqueamento, abarca o conjunto de operações necessárias para preparação do material para tingimento, estampagem ou algum acabamento. O tingimento consiste no processo de coloração uniforme do têxtil, e pode ser efetuado no tecido, nos fios ou mesmo após confeção, o mesmo se aplica à preparação. A estamparia é a aplicação direta de desenhos ou uma variedade de cores sobre o material têxtil, o qual pode ser efetuado através de operações mecânicas (transferência através de forte pressão) e a aplicação de calor (transferência térmica). Os acabamentos englobam todos os processos posteriores aos anteriores e têm por intuito tornar o tecido ou malha mais adequado para o fim em vista através de melhoria de suas propriedades, tais como o aspeto, brilho, toque, amarrotamento, resistência, estabilidade dimensional, e entre outros. Estas operações podem ser de carácter mecânico e químico, sendo que os mecânicos envolvem apenas ações mecânicas, sem adição de produtos químicos e efetuadas sobre o tecido seco, enquanto os acabamentos químicos compreendem a aplicação de substância que reajam com o tecido de modo a alterar as suas propriedades [10].

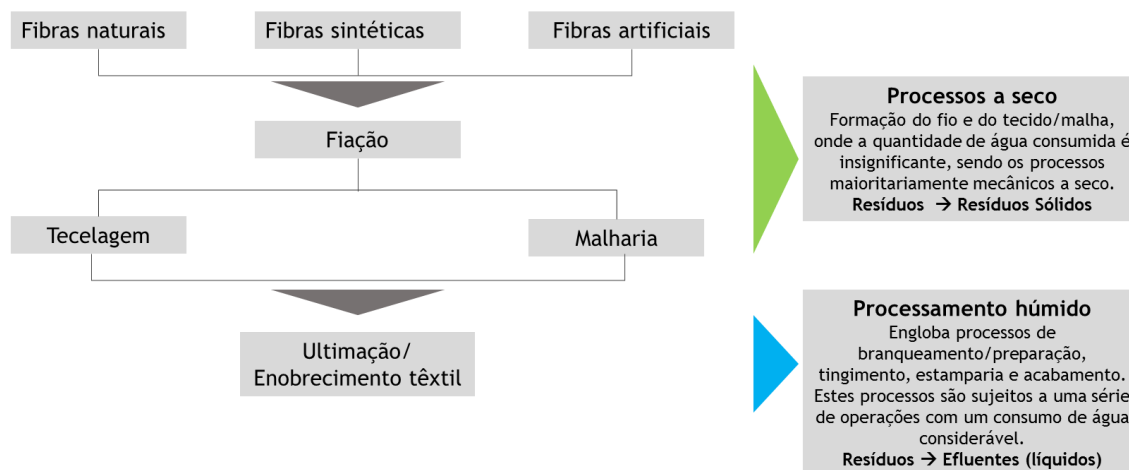


Figura 4.1 - Diagrama das principais etapas da cadeia produtiva têxtil [11], [12]

Cada uma destas etapas apresenta uma geração significativa de resíduos, tanto sólidos como efluentes. Esta geração significativa de resíduos implica impactos ambientais, pelo que é de carácter crucial uma gestão e tratamento adequado desses resíduos, de modo a reduzir tanto os impactos ambientais como garantir a saúde pública [4]. Um exemplo a considerar são os efluentes provenientes da etapa de tinturaria – requer um consumo intensivo de água – constituídos pelos pigmentos, fibras, químicos auxiliares ao processo de tingimento, sais, ácidos, básicos, compostos clorizados e por vezes metais pesados. O tratamento inadequado destes efluentes poderá originar em impactos extremamente negativos nos recursos hídricos, levando à contaminação dos solos, do lençol freático e águas de superfície no local e nas proximidades (Tabela 4.1 e 4.2) [13].

Tabela 4.1 - Principais insumos e resíduos gerados por etapa do processamento têxtil [10], [11], [14]-[17]

Entrada no sistema	Processo	Saída do sistema
Matéria-prima (fibras) Energia elétrica Ar comprimido Vapor Fluídos térmicos	Fiação	Emissões atmosféricas reduzidas ou nenhuma (materiais particulados - fibrilas) Pouco ou nenhuns efluentes Resíduos sólidos (resíduos de fibras, embalagens e fios)
Fios Energia elétrica Vapor Água e produtos químicos para engomagem (água para lavagem de goma e limpeza dos equipamentos; amido, álcool polivinílico, esterres, tensoativos, biocidas carboximetil celulose, carboximetil amido, etc.) Ar comprimido	Tecelagem e Malharia (urdimento, engomagem, tecelagem plana ou malharia)	Emissões atmosféricas reduzidas ou nenhuma dos processos a seco Emissões atmosféricas de COVs da engomagem Resíduos sólidos (embalagens, fibras, fios rompidos, tecidos) Pouco ou nenhuns efluentes dos processos a seco (urdimento, tecelagem e malharia) Efluentes líquidos (elevado DBO e DQO, metais, águas de lavagem) da engomagem

Tabela 4.1 - Lista de principais insumos e resíduos gerados por etapa do processamento têxtil (*cont.*)

Entrada no sistema	Processo	Saída do sistema
Energia elétrica Vapor Gás natural ou gás de petróleo liquefeito (GPL) Ar comprimido Produtos químicos: oxidantes, sais, tensoativos, enzimas, álcool polivinílico, ésteres, carboximetil celulose, biocidas, agentes complexantes, álcali, H ₂ O ₂ , HaOH, redutores.	Tratamento prévio (chamuscagem, desengomagem, branqueamento, mercerização)	Emissões atmosféricas de COVs e pequena quantidade de gases de exaustão Poucos ou nenhuns resíduos sólidos, sendo os resíduos sólidos do processo de desengomagem (embalagens, fibras, fios, resíduos de limpeza e manutenção contento solventes) Águas residuais de todos os processos exceto chamuscagem (DBO, DQO, lubrificantes, biocidas, compostos antiestáticos, desinfetantes, inseticidas, NaOH, detergentes, óleos, solventes, estabilizadores, H ₂ O ₂ , pH elevado)
Energia elétrica Vapor Água Ar comprimido Corantes e diferentes produtos químicos, dependendo do tipo de processo de tingimento (ex.: formaldeído, sais, tensoativos, agentes complexantes, corante direto/reactivo/sulfuroso, álcalis, H ₂ O ₂ , retardantes, redutores, etc.)	Tingimento	Emissões atmosféricas de COVs Pouca ou nenhuma geração de resíduos sólidos Águas residuais: DBO, DQO, metais, sal, cor, surfactantes, compostos orgânicos, cor, materiais catiónicos, compostos tóxicos, solventes, sulfetos, acidez/alcalinidade
Energia elétrica Vapor Água Produtos químicos, dependendo do tipo de processo de estampagem (ex.: solventes, álcali, pigmentos, espessantes, ligantes como resinas, amaciante, sais, redutores, tensoativos, espessante, oxidantes, ureia, etc.)	Estamparia	Emissões atmosféricas: vapores de solventes, ácido acético, gases de combustão, material particulado. Águas residuais: DBO elevado, altamente colorido com aparência oleosa, sólidos suspensos, ureia, metais, espuma, ligeiramente alcalino. Pouca ou quase nenhuma geração de resíduos sólidos
Energia elétrica Vapor Água Produtos químicos, dependendo do tipo de acabamento (ex.: agentes fixadores, tensoativos, álcali, amaciadores, resinas, produtos anti-espuma, biocidas, produtos oleófilos, produtos anti-traça, produtos anti-feltragem, produtos de ignifugação, etc.)	Acabamento	Emissões atmosféricas: COVs, vapores de formaldeído, gases de combustão, material particulado, resíduos de químicos presentes no material têxtil. Águas Residuais: DBO, DQO, sólidos suspensos, compostos tóxicos, solventes. Resíduos sólidos: retalhos e pedaços de tecidos, e embalagens.
Energia elétrica Matéria-prima (fios e tecidos)	Confeção	Pouca ou nenhuma geração de emissões atmosféricas e águas residuais Resíduos sólidos (restos de tecidos, fios, embalagens, etc.)

COV - Compostos Orgânicos Voláteis; DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO - Demanda Química de Oxigênio.

Quanto aos resíduos sólidos, estes normalmente consistem em fibras têxteis e são resultantes, principalmente, dos processos a seco. Estes resíduos podem ser aproveitados na produção de briquetes, reciclados ou enviados para os aterros, opção esta que não é muito viável devido ao tempo de vida reduzido dos aterros e seus efeitos negativos para saúde pública e ambiente. Neste sentido deve-se sempre procurar soluções alternativas como a reciclagem das matérias ou a valorização energética dos resíduos (Tabela 4.2) [4], [18]. Para valorização energética dos resíduos existem diversos métodos, tais como a pirólise e gasificação – processos que apresentam elevado custo –, a combustão controlada e a cogeração. Por exemplo a pirólise apresenta uma eficiência energética na ordem dos 30%, o que não é um resultado muito atrativo em relação ao custo e complexidade do processo. No entanto a combustão controlada dos resíduos têxteis apresenta um resultado muito atrativo e um custo consideravelmente inferior a processos como pirólise e gasificação [4].

Tabela 4.2 - Técnicas de tratamento e valorização de efluentes e resíduos do processamento têxtil

Resíduo	Formas de tratamento e valorização
Águas Residuais	<p>De forma a minimizar os impactos dos efluentes estes devem ser tratados antes do seu lançamento nas massas de água. Existem diversos sistemas de tratamento (químico, físico-químico e biológico), mas de um modo geral, os princípios básicos de tratamento de efluentes consistem: separação das partículas sólidas do líquido; oxidação de materiais orgânicos e com demanda de oxigénio; neutralização; remoção de substâncias tóxicas; e descarte/eliminação dos resíduos [11].</p> <p>Produtos Resultantes: Lodo; água tratada que pode ser lançada nas massas de água, ou por vezes, pode ser reutilizada nos processos industriais, mas após a sua adequação aos parâmetros de qualidade de água [14].</p>
Lodo	<p>Em qualquer um dos tipos de processos de tratamento de efluentes há a formação do lodo residual, o qual deverá ser estabilizado antes de qualquer destinação posterior. Este tratamento consiste: na redução do volume através da redução da humidade; redução de sólidos voláteis através da redução da matéria orgânica; desidratação; e remoção de organismos patogénicos [19].</p> <p>Principais destinações: disposição no mar; disposição em aterros o que gera custos logísticos adicionais; <i>landfarming</i> que consiste na aplicação controlada do resíduo (lodo) sobre o solo, promovendo a degradação biológica, e conseqüentemente, a fertilização do solo; compostagem para obtenção de composto a ser aplicado como adubo; aplicação na construção de componentes de construção civil; Valorização Energética [15], [19].</p> <p>Valorização Energética: (a) Combustão controlada, podendo ser o lodo utilizado como combustível alternativo em caldeiras de biomassa, pelo que normalmente, o lodo é submetido a processos de densificação – aplicação de pressão com o intuito de compactar e aumentar a densidade, de modo a homogeneizar, reduzir o volume e a humidade, aumentar o poder calorífico e melhorar a eficiência da queima – (ex.: pellets, briquetes, etc.) [18]. É de se salientar que o lodo pode ser briquetado juntamente com os resíduos sólidos têxteis. Quando briquetados com resíduos têxteis de algodão, o lodo aumenta o poder calorífico e a matéria volátil do briquete [20]. (b) Pirólise do lodo resulta em óleos, gases e carbono fixo, que podem ser utilizados como combustíveis ou matéria-prima para a indústria petroquímica [18]. (c) Gasificação produz gás combustível que pode ser aplicado em turbinas a gás ou em queimadores das caldeiras de vapor [18].</p>

Tabela 4.2 - Técnicas de tratamento e valorização de efluentes e resíduos do processamento têxtil (cont.)

Resíduo	Formas de tratamento e valorização
Resíduos Sólidos Têxteis	<p>Principais destinações: reciclagem e recuperação dos materiais; depósito em aterros; valorização energética [15], [21].</p> <p>Valorização de materiais: Destes resíduos podem ser recuperados as fibras através de separação destas e reintegração no sistema produtivo para confecção de fios menos nobres. No caso de resíduos de algodão, estes também podem ser utilizados na compostagem, sendo reaproveitados como adubo orgânico [15].</p> <p>Valorização Energética: Quando não for possível a recuperação dos materiais ou for economicamente inviável, os resíduos têxteis podem ser submetidos à valorização energética por combustão. Assim, a energia utilizada durante os processos produtivos pode ser recuperada. É de se salientar que os resíduos deverão ser densificados para obtenção de uma queima mais eficiente [21].</p>

Neste sentido a co-combustão dos resíduos têxteis para geração de calor para os processos industriais pode substituir parte dos combustíveis fósseis. Estudos feitos com resíduos têxteis demonstram que estes têm um elevado potencial energético, o que os torna utilizáveis em co-combustão com carvão [4]. Por exemplo, o poder calorífico de polímeros é comparável a óleo combustível e superior ao de carvão, logo resíduos sólidos têxteis compostos por fibras poliméricas apresentam um alto poder calorífico, tornando-os assim ideais para incineração para produção de energia térmica (Gráfico 4.1) [22]. No entanto a combustão controlada de resíduos têxteis deve ser uma opção para resíduos têxteis sólidos que não podem ser reciclados, pois, primeiramente, conforme Diretiva 2008/98/CE [23], há que se valorizar o máximo possível os materiais, e então só posteriormente valorizar energeticamente. E tratando-se de uma combustão, logo há ao mesmo tempo valorização energética e eliminação dos resíduos.

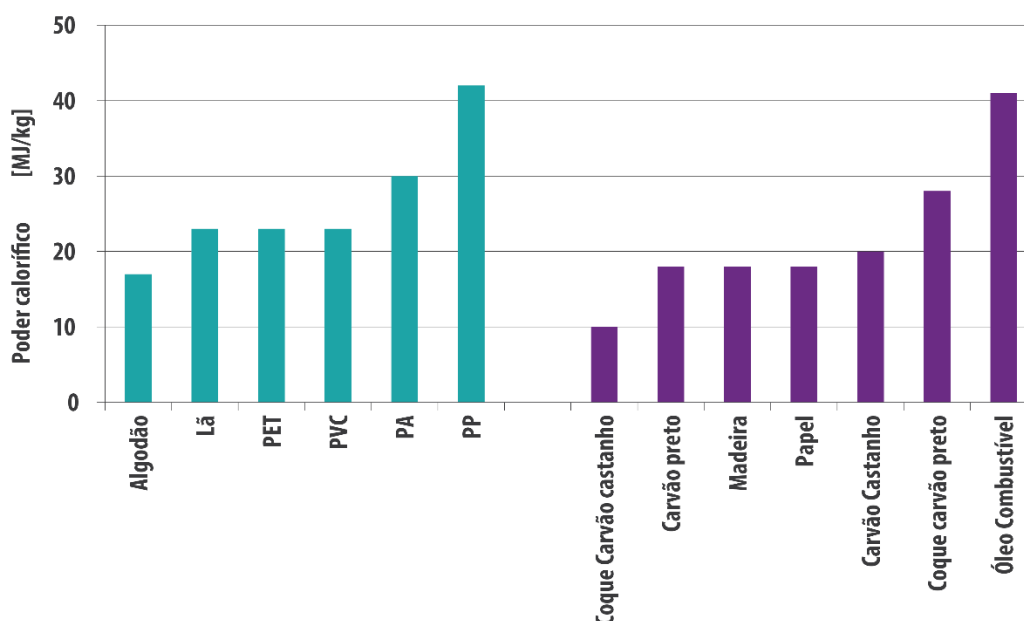


Gráfico 4.1 - Poder calorífico para matéria bruta têxtil e combustíveis fósseis [21]

A disposição dos resíduos têxteis sólidos em aterro abarca tanto impactos ambientais e sociais como económicos, e para além disso representa um desperdício de recursos, pelo que a sua valorização é necessária. Embora o ideal seja a reciclagem das fibras dos resíduos têxteis em produtos, nem sempre é um procedimento exequível para muitos materiais residuais, pois poderá implicar um grande esforço, uso e consumo energético, e elevada poluição, especialmente em resíduos sólidos têxteis compostos por uma grande variedade de tipos de fibras. Nesta perspetiva, a reciclagem dos resíduos têxteis sólidos deve ser considerada para maximização dos benefícios económicos e ambientais, caso contrário não é um tipo de valorização que vale a pena [22]. Nota-se então que há uma necessidade da valorização energética e consequente eliminação dos resíduos que não podem ser reciclados.

4.3. Valorização energética de Resíduos têxteis Industriais¹

A grande variedade de fibras, o tamanho e a cor, levam a que nem sempre seja possível a reciclagem e recuperação de todas as fibras presentes nos resíduos têxteis industriais, pelo que as fibras não recuperadas são comprimidas, e dependendo da unidade industrial, estes podem ser simplesmente enviados para os aterros ou então valorizados energeticamente, sendo que a primeira ocorre com mais frequência. Neste sentido há a necessidade que sejam conduzidos estudos técnico-económicos de modo a verificar a viabilidade da valorização desses resíduos, pois a sua eliminação em aterros irá levar a implicar os custos do envio para os aterros (transporte, armazenagem, etc.), diminuição do tempo de vida dos aterros e desperdícios de recursos materiais como energéticos.

De modo a demonstrar os benefícios da valorização energética dos resíduos têxteis industriais, consideram-se os dados obtidos em estudos anteriormente realizados por outros autores, nomeadamente, o estudo conduzido por Leonel J. R. Nunes, João C. O. Matias e João P. S. Catalão, que tem por objetivo verificar a viabilidade económica, energética e ambiental da valorização energética desses resíduos localmente nos processos produtivos da indústria têxtil.

Este estudo foi conduzido numa unidade industrial localizada na zona Norte de Portugal, mais concretamente no município da Trofa, em pleno Vale do Ave, onde os resíduos têxteis foram comprimidos em briquetes – 90% algodão e 10% poliéster (Figura 4.2) –, estes briquetes foram submetidos à combustão controlada na caldeira de biomassa presente nas instalações, mais especificamente na caldeira de vapor com a capacidade de 2t/h de vapor a 10 bar, e uma amostra de briquetes foi recolhida e caracterizada laboratorialmente, de modo a determinar as suas propriedades.

¹ Dados de acordo com o artigo de Leonel J. R. Nunes, João C. O. Matias e João P. S. Catalão [4].



Figura 4.2 - (a) Briquetes de resíduos têxteis compostos 90% algodão e 10% poliéster; (b) caldeira a vapor que usa pellets de madeira como combustível utilizado no estudo; (c) silo do sistema de alimentação do forno; (d) forno de caldeira a vapor [4].

Em relação aos métodos utilizados para análise laboratorial das amostras, primeiramente, para que a amostra melhor representasse os resíduos da indústria, durante 21 dias foram recolhidos briquetes, os quais posteriormente foram desfeitos e transformados em novos briquetes. Destas amostras foram determinados: o poder calorífico superior e inferior; conteúdo de oxigénio, hidrogénio, carbono e azoto; a percentagem de humidade; o teor de voláteis; o teor de carbono fixo; e o teor de cinzas. Os resultados obtidos demonstraram que o poder calorífico superior da amostra era de 16,8 MJ/kg, o poder calorífico inferior era de 15,5 MJ/kg, o conteúdo de oxigénio ultrapassou os 50%, o teor de cinzas não chegou a 1%, cerca de 6% de humidade, e um conteúdo de matéria volátil em torno dos 80% (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Caracterização laboratorial dos briquetes de resíduos têxteis analisados [4]

Parâmetro	Resultado
Poder Calorífico Superior - PCS (c.r.)	16.80 MJ/kg
Poder Calorífico Inferior - PCI (c.r.)	15.50 MJ/kg
Conteúdo de Oxigénio (b.s)	52.80%
Conteúdo de Carbono (b.s)	40.28%
Conteúdo de Hidrogénio (b.s)	6.01%
Conteúdo de nitrogénio (b.s)	0.365%
Humidade (c.r)	6.22%
Conteúdo volátil (c.r)	80.26%
Carbono fixo (b.s)	13.86%
Conteúdo de cinzas (b.s)	0.52%

c.r. - como recebido; *b.s.* - base seca

Pergunta-se então qual a importância de cada um destes parâmetros e como estes auxiliam na caracterização das amostras. Cada um dos parâmetros analisados correspondem a propriedades que indicam como será o comportamento da amostra aquando combustão, nomeadamente, o poder calorífico, a teor de humidade, a matéria volátil, o carbono fixo e o conteúdo de cinzas. O poder calorífico consiste na quantidade de energia libertada por unidade de massa ou volume de combustível, e é um dos indicadores de maior importância, especialmente, quando se pretende a aplicação de resíduos como combustíveis alternativos para substituição de

combustíveis com alto poder calorífico. Por sua vez a percentagem de humidade afeta a qualidade de combustão, pois quanto maior é a humidade, menor será a facilidade de ignição e a temperatura de combustão, e conseqüentemente ocorrerá uma combustão incompleta, levando à ineficiência do processo. Quanto a matéria volátil, esta propriedade concerne à facilidade de ignição, o que implica que quanto maior for, melhor será a ignição e o processo de queima. O carbono fixo é a massa restante após a libertação dos compostos voláteis, da humidade e das cinzas, e também está relacionado com o tempo de queima, ou seja, quanto maior for a percentagem dos voláteis, humidade e cinzas menor será o carbono fixo, conseqüentemente, menor será o tempo de combustão, o que pode criar dificuldades a nível do controlo da combustão. Em relação ao conteúdo de cinzas, representa a percentagem de componentes minerais presentes no material, e constitui a fração remanescente da combustão completa, os resíduos. Nota-se que as cinzas são compostas por material inerte, e logo não contribuem para o calor total libertado pela combustão, ou seja, reduzem o poder calorífico do material. Por fim e não menos importante são os níveis de carbono e hidrogénio, estes afetam o processo de combustão, quanto maior for o nível melhor será o processo, mas se os níveis de oxigénio no combustível forem elevados implica a redução da energia libertada durante o processo [20], [24].

Para que haja uma combustão eficiente é necessário que o combustível apresente baixos níveis de humidade – no caso do fabrico de briquetes recomenda-se valores entre os intervalos de 8% a 15% base seca – e teor de cinza, e elevados níveis de carbono fixo, matéria volátil, e com certeza, um elevado poder calorífico [20]. Neste sentido, ao analisar os resultados obtidos verifica-se que o nível de humidade é inferior ao habitual de outros combustíveis, como a biomassa, o que é um bom sinal, e indica que a qualidade do processo de combustão será melhor. No âmbito do conteúdo de cinzas os valores são baixos, de apenas 0,52%, o que implica quase nenhuma redução do total de calor libertado, e também será menos provável a ocorrência de problemas associados ao depósito de cinzas no forno. A percentagem de matéria volátil é elevada, o que indica uma elevada reatividade, o que implica facilidade de ignição e queima. Os valores de carbono fixo são inferiores a 15%, o que indica que é equivalente ao da biomassa.

Quanto aos níveis de carbono, oxigénio e hidrogénio, tratando-se de uma amostra à base de algodão, que é um material orgânico, logo é composto principalmente por hidratos de carbono, o que indica que a presença de oxigénio é elevada e quase equivalente à de carbono, e, por conseguinte, reduz a quantidade de energia libertada durante a combustão. Se comparado a combustíveis fósseis e/ou combustíveis alternativos compostos por hidrocarbonetos, a energia libertada pela amostra é notavelmente inferior, ou seja, se os briquetes tivessem uma percentagem maior de fibras de poliéster a quantidade de energia libertada seria consideravelmente superior. Mesmo assim, os briquetes analisados não deixam de ser atrativos para valorização energética, representam um potencial como combustível alternativo, sendo

os valores do PCS e PCI muito próximos dos de pellets de madeira. Segundo estudo conduzido por G. Telmo e J. Lousada [25], o poder calorífico das pellets de madeira existentes em Portugal variam de acordo com o tipo de madeira, sendo que o PCS dos pellets das madeiras existentes no país varia de 17 a 20 MJ/kg, PCI encontra-se no intervalo de 14 a 17 MJ/kg, e o teor de humidade varia dos 7 aos 18%. Averigua-se que os briquetes de resíduos têxteis industriais analisados têm propriedades muito semelhantes aos de pellets de madeira, o que os torna um potencial combustível alternativo.

No que se refere à viabilidade da aplicação desses briquetes de resíduos como combustível alternativo nos processos produtivos da empresa estudada por Leonel J. R. Nunes, João C. O. Matias e João P. S. Catalão, foram conduzidas simulações da combustão desses briquetes em fornos de caldeiras a vapor de 1.542 MW de energia térmica e a capacidade de produção de 2t/h de vapor a 10 bar. As simulações consideraram que a unidade está em funcionamento 1, 2 ou 3 turnos diários, durante 21 dias úteis mensais e 11 meses por ano. Os resultados desta simulação demonstram que para o cenário em questão é necessário o consumo de 137.54 kg/h de óleo combustível, 616.80 kg/h de aparas de madeira, 321.25 kg/h de pellets de madeira e 367.14 kg/h de briquetes de resíduos têxteis. Destes valores, verifica-se que os dos briquetes de resíduos têxteis são próximos dos de pellets de madeira, quase metade dos de aparas de madeira e ligeiramente mais do que o dobro do óleo combustível. Mais uma vez nota-se que comparativamente aos pellets de madeira, os briquetes de resíduos têxteis são um substituto muito atrativo.

A nível de viabilidade económica, considerando os preços/custos em Portugal no ano 2015 dos combustíveis da simulação apresentados na Tabela 4.4, o custo anual para um turno de funcionamento dos fornos seria de apenas 16.962EUR, enquanto que para o óleo combustível, as aparas de madeira e os pellets de madeira seria de 145.391EUR, 60.412EUR e 74.209EUR, respetivamente (Tabela 4.5). É de se fazer notar que os preços relativos aos briquetes englobam a energia elétrica necessária, os custos de mão-de-obra, outros custos relativos ao desgaste dos equipamentos e considera-se que o material tem custo-zero de fornecimento.

Tabela 4.4 - Valor de mercado em Portugal de combustíveis selecionados no ano 2015 [4]

	Óleo combustível	Aparas de madeira	Pellets de madeira	Briquetes de RT
Price €/t	572	53	125	25
Price €/kg	0.572	0.053	7125	0.025
Price €/kWh	0.051	0.021	0.026	0.006

RT - Resíduos têxteis

Tabela 4.5 - Custo anual dos combustíveis [4]

	Óleo combustível	Aparas de madeira	Pellets de madeira	Briquetes de RT
1 turno	145,391 €	60,412 €	74,209 €	16,962 €
2 turnos	290,782 €	120,824 €	148,418 €	33,924 €
3 turnos	436,173 €	181,236 €	222,626 €	50,886 €

RT - Resíduos têxteis

Segundo os autores, considerando um custo de aquisição de uma caldeira no valor de 275.000EUR, comparativamente a combustíveis à base de madeira, os briquetes de resíduos são mais vantajosos, com um retorno do investimento em menos de um ano caso as caldeiras sejam utilizadas por 3 turnos. Enquanto os combustíveis à base de madeira o retorno do investimento é de um ano até quase 4 anos (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Período de *payback* em anos para diferentes combustíveis [4]

	Aparas de madeira	Pellets de madeira	Briquetes RT
1 turno	3.86	3.86	2.14
2 turnos	1.62	1.93	1.07
3 turnos	1.08	1.29	0.7

RT - Resíduos têxteis

Tendo em conta o exposto e os resultados e análises efetuadas no estudo de Leonel J. R. Nunes, João C. O. Matias e João P. S. Catalão, verifica-se que a utilização de resíduos têxteis industriais como um recurso energético é vantajoso, não só a nível ambiental como a nível económico. A valorização energética desses resíduos localmente nos processos produtivos irá permitir que se reduza a quantidade de resíduos enviados para o aterro, o que por sua vez evitará os custos advindos dessa prática, assim como implicará o aumento de vida dos aterros, e conseqüente redução dos impactos ambientais advindos destes. Para além desses benefícios, os briquetes de resíduos têxteis analisados apresentam ser ideal como um combustível alternativo aos pellets de madeira (combustível normalmente utilizado nas caldeiras na empresa estudada), pois as suas propriedades e comportamento são semelhantes a este. Devido à alta percentagem de algodão o poder calorífico dos briquetes não é tão elevado quanto aos de combustíveis fósseis ou de resíduos à base de hidrocarbonetos, mas não deixam de ser igualmente atrativos. Do ponto de vista económico, os benefícios económicos são elevados, pois o custo inerente é reduzido, sendo mais de vinte vezes inferior ao de óleo combustível, menos de metade das aparas de madeira, e cinco vezes inferior ao de pellets de madeira.

4.4. Nota Conclusiva

Dado o exposto ao longo deste capítulo, verifica-se que a indústria têxtil apresenta grande peso no sector industrial tanto a nível de Portugal como a nível mundial, o que indica que os resíduos gerados por este também constituem uma fração considerável dos resíduos do sector industrial. Embora no sector visem o máximo aproveitamento dos recursos, a máxima recuperação dos resíduos, nem sempre é possível a reciclagem das fibras presentes nos resíduos sólidos. As razões para tal são diversas, nomeadamente, a variedade de tipo de fibras, que dificulta na separação e exige muito esforço, e conseqüentemente, leva com que seja economicamente inviável. Na impossibilidade de recuperação dos materiais deverá ser considerado o potencial energético existente nos resíduos têxteis, os quais normalmente apresentam características atrativas para combustão controlada.

Levando em consideração que ao longo da cadeia do processamento têxtil há um elevado consumo de vapor e energia térmica, e a existência de resíduos têxteis destinados ao aterro, logo há uma infraestrutura para valorização dos resíduos têxteis através da combustão controlada para produção de energia térmica e conseqüentemente vapor. Neste sentido, a aplicação desses resíduos como um combustível alternativo irá evitar gastos do envio aos aterros, assim como aumenta o tempo de vida útil dos aterros e diminui os impactos ambientais destes. Para além disso, evita-se o uso de combustíveis fósseis e seus custos, e previne-se os impactos da sua utilização. A valorização energética dos resíduos têxteis localmente nos processos produtivos permite então uma otimização do ciclo produtivo e apresenta uma relação custo-benefício positiva.

Referências

- [1] T. Gries, D. Veit, and B. Wulforth, "Introduction," in *Textile Technology*, 2nd ed., C. Hamilton, Ed. Munich: Hanser, 2015, pp. 1-27.
- [2] WTO - World Trade Organization, "World Trade report 2015," 2015 [Online]. Available: https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/world_trade_report15_e.pdf
- [3] ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, "Caracterização Sector Têxtil." [Online]. Available: <http://www.atp.pt/gca/index.php?id=18>. [Accessed: 03-Oct-2016]
- [4] L. J. R. Nunes, J. C. O. Matias, and J. P. S. Catalão, "Technical - economic analysis of the use of textile waste for the production of thermal energy," pp. 1-22, 2015.
- [5] W. Klein, "Introduction to spinning," in *The Rieter Manual of Spinning*, vol. 1, Rieter Machine Works Ltd., 2014, p. 11.
- [6] T. Gries, D. Veit, and B. Wulforth, "Principles and Machinery for Production of Woven Fabrics," in *Textile Technology*, 2nd ed., C. Hamilton, Ed. Munich: Hanser, 2015, pp. 141-171.
- [7] F. L. E. Viana, "Caracterização do Sector," in *A INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÕES NO NORDESTE: CARACTERÍSTICAS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES*, Fortaleza: Banco do Nordeste,

- 2005, pp. 16-22.
- [8] M.R. Alcântara and D. Daltin, "A Química do Processamento Têxtil," *Quim. Nova*, vol. 19, no. 3, pp. 320-330, 1996 [Online]. Available: <https://t.co/Sowjlibil1>. [Accessed: 21-Apr-2016]
- [9] T. Gries, D. Veit, and B. Wulfhorst, "Processes and Machines for Knitwear Production," in *Textile Technology*, 2nd ed., C. Hamilton, Ed. Munich: Hanser, 2015, pp. 173-194.
- [10] M. D. Araújo and E. M. de M. e Castro, "Tecnologia da Ultimação," in *Manual de engenharia têxtil vol.II*, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.
- [11] H. Patel and R. T. Vashi, "Introduction," in *Characterization and Treatment of Textile Wastewater*, 2015, pp. 1-20.
- [12] A. C. R. D. Costa and È. R. P. Da Rocha, "Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação," *BNDES Setorial*, vol. 29, pp. 159-202, 2009 [Online]. Available: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf
- [13] S. C. R. Santos and R. A. R. Boaventura, "Treatment of a simulated textile wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with addition of a low-cost adsorbent.," *J. Hazard. Mater.*, vol. 291, pp. 74-82, Jun. 2015 [Online]. Available: <https://t.co/DnU0c24kAj>. [Accessed: 22-Jan-2016]
- [14] E. Y. O. Bastian, J. L. S. Rocco, E. San Martin, and F. de M. Ribeiro, *Guia técnico ambiental da indústria têxtil - Série P + L*. 2009 [Online]. Available: <https://t.co/GrmLANAnLY>
- [15] FIEMG and FEAM, "Guia técnico ambiental da indústria têxtil," 2014 [Online]. Available: http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf
- [16] S. Zhezhova, S. Risteski, and G. Saska, "Methods for waste waters treatment in textile industry," *Int. Sci. Conf. "UNITECH 2014"*, no. November, p. III-248-III-252, 2014.
- [17] B. R. Babu, a K. Parande, S. Raghu, and T. P. Kumar, "Cotton Textile Processing : Waste Generation and Effluent Treatment," *J. Cotton Sci.*, vol. 153, no. 11:141, pp. 141-153, 2007.
- [18] N. V. Avelar, "POTENCIAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA TÊXTEL PARA FINS ENERGÉTICOS," Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- [19] M. M. Pedroza, G. E. G. Vieira, J. F. Sousa, A. de C. Pickler, E. R. M. Leal, and C. da C. Milhomen, "Produção e tratamento de lodo de esgoto-uma revisão," *Rev. Lib.*, vol. 11, no. 16, pp. 89-188, 2010 [Online]. Available: <http://gaia.liberato.com.br/ojs/index.php/revista/article/download/160/150>
- [20] N. V. Avelar, A. A. P. Rezende, A. de C. O. Carneiro, and C. M. Silva, "Evaluation of briquettes made from textile industry solid waste," *Renew. Energy*, vol. 91, pp. 417-424, 2016.
- [21] T. Gries, D. Veit, and B. Wulfhorst, "Disposal and Recycling of Textiles," in *Textile Technology*, 2nd ed., C. Hamilton, Ed. Munich: Hanser, 2015, pp. 377-396.
- [22] Y. Wang, "Fiber and textile waste Utilization," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 1, no. 1, pp. 135-143, 2010.
- [23] Parlamento Europeu e do Conselho, "Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008," *J. Of. da União Eur.*, 2008.

- [24] J. A. Sturion, J. C. D. Pereira, and M. S. Chemin, "Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte," *Bol. Pesqui. Florest.*, vol. 16, pp. 55-59, 1988.
- [25] C. Telmo and J. Lousada, "Heating values of wood pellets from different species," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 7, pp. 2634-2639, 2011.

Capítulo 5

5. Discussão e Conclusão

5.1. Discussão

No presente estudo foram apresentados dois casos de estudos da valorização energética de resíduos, designadamente, PFV e Resíduos Têxteis industriais, os quais servem de representação de resíduos em fim de vida e de resíduos advindos de processos produtivos, respetivamente. Tendo em conta os resultados apresentados da valorização energética nos diferentes casos de estudo, averigua-se:

- A valorização energética de PFV e Resíduos Têxteis permite a poupança de recursos energéticos fósseis e findáveis, o que levará à prevenção dos impactos advindos da utilização desses recursos, assim como se evitam os custos associados a estes, e que são mais elevados relativamente à utilização de PFV e Resíduos têxteis.
- Em ambos os casos, a melhor forma de valorização energética dos resíduos é a combustão controlada, pois apresenta menores custos operacionais e uma maior facilidade de aplicação. Todavia, a valorização por combustão implica o não aproveitamento de todos os recursos materiais presentes nos resíduos, pois ocorre em simultâneo a valorização energética e a eliminação do resíduo. No caso concreto dos PFV, em quase todos os métodos de valorização energética por combustão ocorrem para além da valorização energética, a valorização dos materiais presentes nos pneus (por exemplo, as malhas metálicas estruturais) e a eliminação simultânea, o que leva que a taxa de valorização seja elevada (pois recupera energia, materiais e reduz/elimina taxas de deposição em aterro). Contudo nos resíduos têxteis, no caso analisado neste estudo, isso já não acontece, pois a combustão destes abarca apenas a valorização energética e eliminação.
- O potencial energético do PFV e dos resíduos têxteis está fortemente ligado à composição destes. Todos os pneus apresentam uma elevada percentagem de borracha, o qual é composto por hidrocarbonetos, o que resulta numa maior libertação de calor, e torna o PFV um combustível com propriedades muito semelhantes aos combustíveis fósseis. Por sua vez, a composição dos resíduos têxteis industriais é muito variada, varia de indústria para indústria, ou seja, numa indústria têxtil que utiliza maioritariamente fibras de algodão, como acontece no caso estudado, os resíduos serão compostos principalmente por este material, o qual é orgânico e apresenta uma elevada percentagem de oxigénio, o que reduz a quantidade de energia libertada

aquando combustão. Em resíduos compostos por fibras sintéticas poliméricas o poder calorífico será superior.

- Do ponto de vista global do sistema, o caso de valorização energética dos PFV exemplifica os impactos a grande escala, enquanto a valorização energética dos resíduos têxteis industriais representa a pequena escala na própria unidade industrial. Por outras palavras, a valorização energética dos resíduos têxteis e a utilização da energia obtida nos processos produtivos da própria unidade industrial potencia a otimização do sistema produtivo, tornando-o mais eficiente e sustentável, fechando o ciclo numa perspetiva de economia circular.
- No âmbito financeiro, tanto a valorização energética dos PFV como dos Resíduos têxteis apresentam um custo reduzido, e evitam os custos elevados da utilização de combustíveis fósseis. No caso dos resíduos têxteis evita-se a utilização de pellets de biomassa, os quais têm um custo de significativamente superior.

Sintetizando, a valorização energética de PFV e Resíduos têxteis industriais abarca benefícios ambientais, nomeadamente, evita-se a deposição de resíduos em aterros, e permite que haja tanto a valorização energética como a eliminação e previnem-se os impactos ambientais associados à utilização de combustíveis fósseis. Do ponto de vista económico é viável, pois a aquisição desses resíduos apresenta um custo reduzido, e no caso da valorização energética dos resíduos localmente e subsequente utilização da energia nos processos produtivos, o custo é ainda inferior. Energeticamente, os PFV apresentam poder calorífico idêntico aos combustíveis fósseis, e o dos resíduos têxteis varia de acordo com principal matéria prima utilizada pela indústria, sendo que no caso de resíduos têxteis com uma grande fração de algodão o comportamento durante a combustão será muito semelhante a pellets de biomassa.

5.2. Conclusão

Os resíduos são uma fonte de recursos materiais e energéticos, pelo que a sua simples eliminação representa um desperdício de recursos. Devido ao aumento da dependência energética e de recursos energéticos fósseis findáveis há a necessidade do aproveitamento do conteúdo energético dos resíduos, pois estes podem ser considerados renováveis. Nesta perspetiva, a presente dissertação teve por intuito demonstrar os benefícios, tanto ambientais como económicos, da valorização energética de resíduos, através de dois casos de estudo de valorização energética, nomeadamente, pneus em fim de vida (PFV) e resíduos têxteis industriais.

Para que seja possível uma gestão e valorização eficiente dos resíduos é necessário perceber o que são resíduos, como classifica-los para melhor encaminha-los, e quais os critérios a considerar no tratamento e valorização dos mesmos. Os resíduos são qualquer substância ou objeto descartado pelo detentor, ou que estes tenham a obrigação de descartar. E podem ser

classificados quando às suas características de perigosidade ou quanto a origem. Quanto à perigosidade podem ser perigosas, inertes ou não perigosas. E a origem depende da fonte ou processo que o gerou. Relativamente às medidas a serem adotadas na gestão, estas devem seguir uma hierarquia, onde prioriza-se a medidas preventivas, de minimização e extensão do período de vida útil do produto ou substância. Na impossibilidade destas se verificarem, devem ser consideradas medidas valorativas, designadamente, medidas que visem a recuperação dos recursos materiais e energéticos, nessa ordem. É importante ter sempre em vista a máxima eficiência, mínimos custos e impactos, ou seja, económica e ambientalmente viável e eficiente. Por outras palavras, adota-se a reciclagem se esta apresentar benefícios superiores aos impactos, caso contrário opta-se pela valorização energética. E se este também não for viável, opta-se pela eliminação dos resíduos, o qual deverá ter em vista o mínimo de impactos ambientais possíveis, pelo que devem ser tomados cuidados pré, durante e pós eliminação.

No que diz respeito aos PFV, estes são resíduos com características atrativas para valorização energética, pois apresentam um poder calorífico equivalente a combustíveis fósseis, especificamente, carvão e coque de petróleo. A sua composição também é atrativa para reciclagem, pois apresenta materiais como o aço e a borracha. Quanto aos métodos de valorização de PFV, tanto a recuperação dos materiais como a valorização energética são vantajosas, pois evita-se o consumo de recursos naturais e os impactos advindos da extração e utilização destes, bem como evita-se emissões de gases de efeito estufa, gases acidificantes e substâncias tóxicas, o consumo de água, a contaminação de massas de água e solos, e a eutrofização. No caso concreto da valorização energética, estas são principalmente de cariz destrutivos, à base da combustão, sendo estes o coprocessamento na indústria cimenteira, incineração nas centrais termoelétricas e combustão nos fornos de arco elétrico na indústria siderúrgica. Todos estes processos implicam a reciclagem, valorização energética e eliminação, sendo que no coprocessamento e indústria siderúrgica ocorrem em simultâneo, e nas centrais termoelétrica é indireta, pois recupera-se os materiais das cinzas do processo. A valorização energética dos PFV permite a produção da mesma ou mais quantidade de energia que combustíveis fósseis, a um custo significativamente inferior e menos impactos ambientais.

No que concerne aos resíduos têxteis industriais, nem sempre é possível a recuperação dos materiais devido a inviabilidade económica, pelo que esses resíduos são enviados para os aterros ou são valorizados energeticamente. Estes resíduos apresentam características atrativas para combustão controlada, estando o seu poder calorífico dependente das fibras utilizadas no processo produtivo. Resíduos com elevada percentagem de fibras naturais irão, consequentemente, ser compostos por hidratos de carbono e apresentar um poder calorífico inferior aos resíduos formados por fibras sintéticas formados por hidrocarbonetos. Mas em qualquer uma destas situações estes resíduos podem ser aplicados como combustíveis substitutos de combustíveis fósseis e biomassa (pellets de madeira), os quais abarcam o custo de aquisição. Assim, a aplicação de resíduos têxteis industriais como combustível alternativo no

localmente no processamento têxtil irá evitar o uso de combustíveis fósseis e os seus respetivos impactos ambientais e custos, evita-se o custo do envio para aterros, assim como, implica o aumento de tempo de vida destes e conseqüente redução dos seus impactos, e evita-se os gastos da aquisição de outros combustíveis de biomassa.

Em suma, a valorização energética de resíduos de produtos em fim de vida e de processos produtivos permite a não utilização de recursos fósseis, resultando na prevenção dos impactos destes. Nos dois casos, tanto a valorização energética dos PFV como dos resíduos têxteis industriais apresentam benefícios ambientais e económicos, e permitem a otimização e eficiência da gestão de resíduos e dos processos, tanto a larga escala como em pequena escala, respetivamente. A nível económico, estes resíduos apresentam um custo de aquisição e tratamento inferior aos combustíveis habituais fósseis, o que indica uma redução nos custos.

5.3. Perspetivas futuras de investigação

Para estudos futuros recomenda-se a investigação em novos métodos e formas de valorização energética de resíduos, tanto PFV como resíduos têxteis industriais, que permitam um maior aproveitamento dos recursos materiais e energéticos que estes têm a oferecer, com o mínimo de custos e impactos ambientais.

Bibliografia

Nota ao leitor: Nesta secção encontra-se a lista de toda a bibliografia consultada ao longo do trabalho, e é apresentada segundo o sistema de referência APA 6th ed.. A bibliografia aqui presente é apenas a listagem da literatura consultada, não servindo para efeito de citação. No final de cada capítulo entra-se a respetiva referência das citações, segundo o sistema numérico IEEE, o qual recomeça a contagem em cada capítulo.

3Drivers, & IST - Instituto Superior Técnico. (2013). *Balanço Ambiental , Económico e Social da Gestão de Pneus Usados*.

Aliapur. (n.d.-a). REGULATION - How things work in Europe. Retrieved September 12, 2016, from <https://www.aliapur.fr/en/regulation/how-things-work-europe>

Aliapur. (n.d.-b). The company. Retrieved August 30, 2016, from <https://www.aliapur.fr/en/company/what-aliapu>

Aliapur. (2009). *Using used tyres as an alternative source of fuel - reference values and characterisation protocols*.

Aliapur. (2010). *LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 9 RECOVERY METHODS FOR END-OF-LIFE TYRES*. Retrieved from http://www.aliapur.fr/pdf/lca_-_reference_document_1.pdf

Allsopp, M., Costner, P., & Johnston, P. (2001). *Incineration and human health. State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health. Environmental science and pollution research international* (Vol. 8).

Almeida, P. N. (2011). *Manual de Gestão de Resíduos Industriais*. <http://doi.org/338679/12>

Araújo, M. D., & Castro, E. M. de M. e. (1986). Tecnologia da Ultimação. In *Manual de engenharia têxtil vol.II*. incollection, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação. <http://doi.org/10.5007/21407>

ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal. (n.d.). Caracterização Sector Têxtil. Retrieved October 3, 2016, from <http://www.atp.pt/gca/index.php?id=18>

Avelar, N. V. (2012). *POTENCIAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL PARA FINS ENERGÉTICOS*. Universidade Federal de Viçosa.

Avelar, N. V., Rezende, A. A. P., Carneiro, A. de C. O., & Silva, C. M. (2016). Evaluation of briquettes made from textile industry solid waste. *Renewable Energy*, 91, 417-424. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.075>

- Babu, B. R., Parande, a K., Raghu, S., & Kumar, T. P. (2007). Cotton Textile Processing : Waste Generation and Effluent Treatment. *The Journal of Cotton Science*, 153(11:141), 141-153.
- Barbiero, L. C. da S. (2015). Como funciona um aterro sanitário e a que tipo de resíduos se direciona ? Retrieved August 7, 2016, from <http://graltec.com/como-funciona-um-aterro-sanitario-e-a-que-tipo-de-residuos-se-direciona/>
- Basel Convention. (2002). Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5). *Basel Convention Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill*. Retrieved from <http://www.doe.gov.my/portaltv1/wp-content/uploads/Technical-Guidelines-on-Specially-Engineered-Landfill-D51.pdf>
- Basel Convention. (2013). *Revised technical guidelines for the environmentally sound management of used and waste pneumatic tyres*. <http://doi.org/10.4135/9781412971867.n8>
- Bastian, E. Y. O., Rocco, J. L. S., San Martin, E., & Ribeiro, F. de M. (2009). *Guia técnico ambiental da indústria têxtil - Série P + L*. Retrieved from <https://t.co/GrmLANAnLY>
- Basu, P. (2013). Introduction. In *Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction - Practical Design and Theory* (2nd ed.). Elsevier. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Brenhas, M. J., Machado, R., Dinis, M. a P., & Barros, N. (2009). Co-Incinerção em Fornos de Cimenteiras. Análise de Caso. *Revista Da Faculdade de Ciência E Tecnologia*, 6(2009), 82-94. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10284/1340>
- Comissão Europeia. (2000). Decisão da Comissão 2000/532/CE de 3 de Maio.
- Comissão Europeia. (2003). Decisão do Conselho 2003/33/CE. *Jornal Oficial Da União Europeia*.
- Comissão Europeia. (2011). Decisão da Comissão 2011/753/UE de 18 de Novembro de 2011. *Jornal Oficial Da União Europeia*.
- Comissão Europeia. (2014). Decisão da Comissão 2014/955/UE de 18 de Dezembro de 2014. *Jornal Oficial Da União Europeia*.
- Conselho da União Europeia. (1999). Directiva 1999/31/CE de 29 de Abril de 1999. *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias*.
- Costa, A. C. R. D., & Rocha, È. R. P. Da. (2009). Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação. *BNDES Setorial*, 29, 159-202. Retrieved from http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf
- Costa, H. M. da, Visconte, L. L. Y., Nunes, R. C. R., & Furtado, C. R. G. (2003). Aspectos históricos da vulcanização. *Polímeros*, 13(2), 125-129. <http://doi.org/10.1590/S0104-14282003000200011>

- Deltaway Energy. (n.d.). Waste-to-Energy: How It Works. Retrieved July 27, 2016, from <http://www.deltawayenergy.com/wte-tools/wte-anatomy/>
- DGEG. (2013). *Energia em Portugal*.
- DGEG. (2014). *Balanço energético sintético*.
- DGEG. (2015). *Estatísticas rápidas nº132, Outubro de 2015*. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Ecopneus. (n.d.). Mission and Objectives. Retrieved September 20, 2016, from <http://www.ecopneus.it/en/chi-siamo/mission-and-objectives.html>
- Ecopneus. (2013). *Ecopneus Green Economy - Sustainability Report 2013*. Retrieved from [http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus sustainability Report 2013.pdf](http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus%20sustainability%20Report%202013.pdf)
- Ecopneus. (2014). *Ecopneus in the Green Economy - 2014 Sustainability Report*. Retrieved from [http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus Report 2014.pdf](http://www.ecopneus.it/_public-file/Ecopneus%20Report%202014.pdf)
- Enerdata. (2015). *Energy Statistical Yearbook*. Retrieved from <https://yearbook.enerdata.net/>
- Environment Agency. (2012). *Guidance on The Legal Definition of Waste and Its Application*. incollection. Retrieved from <https://t.cohttps://t.co/NZco8SX6Uv>
- Environment Agency (United Kingdom). (2016a). Legal Definition of Waste Guidance - Decide if a material is waste or not: general guide (updated version of part 2 of original full document). Retrieved June 14, 2016, from <https://t.co/vfrhuUnlqa>
- Environment Agency (United Kingdom). (2016b). Turn your waste into a new non-waste product or material. Retrieved June 14, 2016, from <https://t.co/zfueLAo0xR>
- Environment Protection Authority of Southern Australia. (2009). EPA 842/09 - Waste definitions. [http://doi.org/EPA 842/09](http://doi.org/EPA%20842/09)
- ETRMA. (n.d.). Producer responsibility. Retrieved September 12, 2016, from <http://www.etrma.org/tyres/ELTs/ELTmanagement/>
- ETRMA. (2011). *End of life tyres - A valuable resource with growing potential*.
- ETRMA. (2014). *ETRMA Annual Report 2013/2014*.
- European Bioplastics. (2015). Fact Sheet: Energy Recovery. *European Bioplastics*, 1-7.
- European Commission. (n.d.). Construction and Demolition Waste (CDW). Retrieved January 1, 2016, from http://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm
- European Commission. (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide*. <http://doi.org/10.2788/12850>
- European Parliament. (2010). Guidance on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/EC on waste. *Directive (Report), Directive(2)*. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/pdf/guidance_doc.pdf

- Europeu, P. (2000). DIRECTIVA 2000/76/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 4 de Dezembro de 2000 relativa à incineração de resíduos.
- Eurostat. (2011). Guidance on the interpretation of the term backfilling, 1-2.
- Eurostat. (2015). *Energy, transport and environment indicators* (pp. 20-87).
<http://doi.org/10.2785/547816>
- Eurostat. (2015). *Key figures on Europe 2015* (pp. 158-160). <http://doi.org/0628>
- Eurostat. (2015d). Waste Statistics. Retrieved May 29, 2016, from
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
- FIEMG, & FEAM. (2014). *Guia técnico ambiental da indústria têxtil*. Retrieved from
 <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/textil.pdf>
- Formigoni, A., Stettiner, C. F., Rodrigues, E. F., Campos, I. P. de A., & Maiellaro, J. R. (2014). A logística reversa do óleo de cozinha para produção de biodiesel: Estudo de caso. *Espacios*, 35(11). Retrieved from
<http://www.revistaespacios.com/a14v35n11/14351103.html>
- Gathany, J. (2006). Public Health Image Library (PHIL) - #9261. Retrieved from
http://phil.cdc.gov/phil/details_linked.asp?pid=9261
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007>
- Gillham, B. (2000). *Case study research methods*. Continuum.
- Gries, T., Veit, D., & Wulfhorst, B. (2015). *Textile Technology - An Introduction*. 2nd ed., Hanser Publisher, Munich.
- Hancock, D. R., & Algozzine, B. (2006). *Doing case study research: A practical guide for beginning researchers. The real life guide to accounting research: A behind-the-scenes view of using qualitative research methods*.
- Harrison, R. M., Hester, R. E., & Carroll, G. (2003). *Health and Environmental Effects of Landfilling and Incineration of Waste - A Literature Review*. Royal Society of Chemistry.
- IEA. (2015). *Key Trends in CO2 Emissions. Excerpt from: CO2 Emissions from fuel combustion*.
- Instituto Nacional de Estatística. (2016). *Estatísticas dos Resíduos 2014*. Retrieved from
<https://t.co/dnFWdsVQin>
- Kinsella, S. (2012). Paperwork : Comparing Recycled to Virgin Paper. Why Recycled Content is Crucial for Printing & Writing Paper. re paper project by environmental paper network.
- Klein, W. (2014). Introduction to spinning. In *The Rieter Manual of Spinning* (Vol. 1, p. 11). Rieter Machine Works Ltd.

- Laboy-Nieves, E. (2014). Energy Recovery from Scrap Tires: A Sustainable Option for Small Islands like Puerto Rico. *Sustainability*, 6(5), 3105-3121.
<http://doi.org/10.3390/su6053105>
- Lagarinhos, C. A. F. (2011). *Reciclagem De Pneus : Análise Do Impacto Da Legislação Ambiental Através Da Logística Reversa*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Lagarinhos, C. A. F., & Tenório, J. A. S. (2008). Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. *Polímeros*, 18(2), 106-118.
<http://doi.org/10.1590/S0104-14282008000200007>
- Leme, P. S., Martins, J. L. G., & Brandão, D. (2012). *Guia Prático para Minimização e Gerenciamento De Resíduos*.
- Lima, P. (2013). Pneus são descartados em terreno de Bernardino de Campos, SP. Brasil: TV TEM. Retrieved from <http://g1.globo.com/sao-paulo/itapetininga-regiao/noticia/2013/02/pneus-sao-descartados-em-terreno-de-bernardino-de-campos-sp.html>
- M.R. Alcântara, & D. Daltin. (1996). A Química do Processamento Têxtil. *Química Nova*, 19(3), 320-330. Retrieved from <https://t.co/Sowjlibil1>
- Maroun, C. A. (2006). *Manual de Gerenciamento de Resíduos - Guia de procedimentos passo a passo* (2nd ed.). Rio de Janeiro. Retrieved from <http://www.firjan.org.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=4028808120E98EC7012121CA3548069E>
- Martínez, J. D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., & Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 179-213. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>
- Marwood, C., McAtee, B., Kreider, M., Ogle, R. S., Finley, B., Sweet, L., & Panko, J. (2011). Acute aquatic toxicity of tire and road wear particles to alga, daphnid, and fish. *Ecotoxicology*, 20(8), 2079-2089. <http://doi.org/10.1007/s10646-011-0750-x>
- Miguel, P., Fleury, A., Mello, C. H. P., Nakano, D. N., Lima, E. P. de, Turrioni, J. B., ... Pureza, V. (2012). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. (P. A. Cauchick, Ed.) (2nd ed.). Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda.
<http://doi.org/CDU 658.5001.8>
- Mills, A. J., Durepos, G., & Wiebe, E. (Eds.). (2010). *Encyclopedia of Case Study Research*. SAGE Publications.
- Ministério do Ambiente. (1997). Decreto-Lei nº 152/97 de 19 de Junho de 1997, 2959-2967.
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território. (2011). Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho. *Diário Da República*, 1ª Série(116), 3251-3300.

- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro. *Diário Da República*, 1ª Série(171), 6526-6545.
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2009). Decreto lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. *Diário Da República 1ª Série*, 153, 5170-5198.
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2001). Decreto-Lei 111/2001. *Diário Da República - I Série-A*, (82), 2046-2050.
- MWH. (2004). *End-of-Life Tyre Management : Storage Options*. Dunedin. Retrieved from <http://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/end-of-life-tyre-management.pdf>
- Nunes, L. J. R., Matias, J. C. O., & Catalão, J. P. S. (2015). Technical - economic analysis of the use of textile waste for the production of thermal energy, 1-22.
- Oliveira Neto, G. C., Chaves, L. E. D. C., & Vendrametto, O. (2010). Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. *Exacta*, 8(1). <http://doi.org/10.5585/exacta.v8i1.1991>
- Parlamento Europeu. (1991). Directiva 91/271/CEE. *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias*.
- Parlamento Europeu e do Conselho. (2008). Diretiva 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008. *Jornal Oficial Da União Europeia*.
- Patel, H., & Vashi, R. T. (2015). Introduction. In *Characterization and Treatment of Textile Wastewater* (pp. 1-20).
- Pedro, D. A. G. (2011). *Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus*. Instituto Superior Técnico - UTL.
- Pedroza, M. M., Vieira, G. E. G., Sousa, J. F., Pickler, A. de C., Leal, E. R. M., & Milhomen, C. da C. (2010). Produção e tratamento de lodo de esgoto-uma revisão. *Revista Liberato*, 11(16), 89-188. Retrieved from <http://gaia.liberato.com.br/ojs/index.php/revista/article/download/160/150>
- Portugal-Pereira, J., & Lee, L. (2016). Economic and environmental benefits of waste-to-energy technologies for debris recovery in disaster-hit Northeast Japan. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4419-4429. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.083>
- Pre-Waste. (n.d.). What is Waste Prevention? Retrieved June 23, 2016, from http://www.prewaste.eu/index.php?option=com_k2&view=item&id=55:what-is-waste-prevention?&Itemid=41
- Psomopoulos, C. S., Bourka, A., & Themelis, N. J. (2009). Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, 29(5), 1718-1724. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.020>

- Rajaram, V., Siddiqui, F. Z., & Khan, M. E. (2011). Landfill gas to energy: International status prospects. In *From Landfill Gas to Energy: Technologies and Challenges*. CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Ramos, G., Alguacil, F. J., & López, F. a. (2011). The recycling of end-of-life tyres. Technological review. *Revista de Metalurgia*, 47(3), 273-284.
<http://doi.org/10.3989/revmetalm.1052>
- Recipneu. (n.d.). Listagem de Produtos. Retrieved June 9, 2015, from <http://www.recipneu.com/artigo.aspx?cntx=456ksynjeVREGbyAzzVRTPztMpP5kx1ikQ2ImuPiOk2udEjf3ohGTxi48KlkRPXF>
- Reddy, P. J. (2011). Landfilling. In *Municipal Solid Waste Management* (pp. 175-198). CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Reschner, K. (2008). Scrap Tire Recycling. Retrieved June 9, 2015, from http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf
- Richards, J., Goshaw, D., Speer, D., & Holder, T. (2008). *Air emissions data summary for Portland cement pyroprocessing operations firing tire-derived fuels. PCA R&D*. Retrieved from <http://epa.gov/epawaste/conserva/materials/tires/pubs/tdf-report08.pdf>
- RightTurn. (n.d.). Tire Facts. Retrieved May 11, 2015, from <https://www.rightturn.com/tire-facts/>
- Santos, S. C. R., & Boaventura, R. A. R. (2015). Treatment of a simulated textile wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with addition of a low-cost adsorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 291, 74-82. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.02.074>
- Scottish Environment Protection Agency. (2006). Guidance for SEPA staff IS IT WASTE, (2).
- Stockholm Convention. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (2001). Retrieved from http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf
- Sturion, J. A., Pereira, J. C. D., & Chemin, M. S. (1988). Qualidade da madeira de Eucalyptus viminalis para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 16, 55-59. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Telmo, C., & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2634-2639.
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043>
- The Role of Waste Incineration in Germany. (2008). Umweltbundesamt. Retrieved from <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/3872.pdf>

- Themelis, N. J., & Mussche, C. (2014). 2014 Energy and Economic Value of Municipal Solid Waste (MSW), Including Non-Recycled plastics (NRP), Currently Landfilled in the Fifty States. *Columbia University*. Retrieved from <http://www.americanchemistry.com/Policy/Energy/Energy-Recovery/2014-Update-of-Potential-for-Energy-Recovery-from-Municipal-Solid-Waste-and-Non-Recycled-Plastics.pdf>
- Torretta, V., Rada, E. C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, I. A., & Cioca, L. I. (2015). Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review. *Waste Management*. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>
- UNIVAR. (n.d.). Guia Técnico de Elastômeros. *Lisboa*. São Paulo - Brasil: UNIVAR Brasil.
- Valorpneu. (n.d.-a). Componentes e Características de um Pneu. Retrieved May 10, 2015, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=221&name=Componentes-e-Caracteristicas-de-um-Pneu
- Valorpneu. (n.d.-b). Soluções para Pneus Usados - Reutilização para outros fins. Retrieved June 9, 2015, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=224&name=Reutilizacao-para-Outros-Fins
- Valorpneu. (2016). Conheça o Sistema SGPU Modelo Operacional e Financeiro. Retrieved September 12, 2016, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=74&name=Modelo-Operacional-e-Financeiro
- VDZ. (2012). *Environmental Data of the German Cement Industry*.
- Viana, F. L. E. (2005). Caracterização do Sector. In *A INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÕES NO NORDESTE: CARACTERÍSTICAS, DESAFIOS E OPORTUNIDADES* (pp. 16-22). Fortaleza: Banco do Nordeste.
- Votorantim Cimentos. (n.d.). Coprocessamento. Retrieved June 10, 2015, from <http://www.votorantimcimentos.com.br/html-ptb/Responsabilidade/Coprocessamento.htm>
- Wang, Y. (2010). Fiber and textile waste Utilization. *Waste and Biomass Valorization*, 1(1), 135-143. <http://doi.org/10.1007/s12649-009-9005-y>
- WBCSD. (2008). *Managing End-of-Life Tires*. Retrieved from <http://www.bir.org/assets/Documents/industry/ManagingEndOfLifeTyres.pdf>
- WHO. (2009). Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention, and control. *Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases*, 147. <http://doi.org/WHO/HTM/NTD/DEN/2009.1>

- WHO. (2014). Yellow fever. Retrieved June 4, 2015, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs100/en/>
- WHO. (2015). Malaria. Retrieved June 4, 2015, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/en/>
- WHO. (2016). Zika Virus. Retrieved September 18, 2016, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/zika/en/>
- Wik, A., & Dave, G. (2005). Environmental labeling of car tires-toxicity to *Daphnia magna* can be used as a screening method. *Chemosphere*, 58(5), 645-651. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.103>
- WTO - World Trade Organization. (2015). *World Trade report 2015*. Retrieved from https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/world_trade_report15_e.pdf
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research : Design and Methods*. *Applied social research methods series* (3rd ed., Vol. 5). SAGE Publications. <http://doi.org/10.1097/FCH.0b013e31822dda9e>
- Zhezhova, S., Risteski, S., & Saska, G. (2014). Methods for waste waters treatment in textile industry. *International Scientific Conference "UNITECH 2014,"* (November), III-248-III-252.