

SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS: INCINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE – CASO DE ESTUDO

Sónia Maria Abelha Gomes

Relatório de Estágio apresentado para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Cidadania Ambiental e Participação**, realizada sob a orientação científica da **Professora Doutora Ana Paula Martinho** e co-orientação científica do **Professor Doutor Flavio Bettoni**.

Julho 2019

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio e colaboração de várias pessoas que direta ou indiretamente para ele contribuíram e que desta forma expresso o meu agradecimento.

À Professora Doutora Ana Paula Martinho, que aceitou a orientação deste trabalho, pela disponibilidade, conselhos, apoio e carinho. Foi incansável neste percurso. Pelas inúmeras horas de videoconferência e conversas (“toco”).

Ao Flavio Bettoni, que sugeriu um estágio e aceitou co-orientar o meu trabalho. Pela oportunidade de trabalhar nesta área que contribuiu para o meu crescimento na temática, pela disponibilidade, pelos conselhos, pelo apoio, pelas horas extras em explicações e atender sempre às minhas dúvidas.

Aos demais trabalhadores de B&T Engineering, particularmente ao Mathias que me recebeu durante o estágio, ao Michael (Michi) pelas explicações e boa disposição e ao Jörg por me fazer sentir sempre bem-vinda.

Aos responsáveis da Lipor e Valorsul, Dr. Abílio e Eng^o Henrique, por me receberem durante as visitas e os esclarecimentos e apoio que deram para a realização deste trabalho.

À Márcia Côrtes (“mãezona”) que surgiu a ideia de estágio na B&T, pelo apoio, incentivo, pelas longas conversas de chá e por não desistir de me ensinar.

Ao Roberto Gerber, responsável pelo início do meu percurso na UAb, sem o seu incentivo em estudar na Universidade Aberta não teria chegado até aqui.

Anabela Gato pelas horas de companheirismo durante o percurso de mestrado, entre apoio e ajuda.

Ao Paulo Luz, por me desfiar e contribuir para o meu crescimento. Pelo carinho e respeito.

Às minhas amigas, Carina, Catarina, Sílvia, Amanda, Yolanda, Stefania, Karin que não duvidaram de mim, mesmo quando eu o fazia, e sempre encorajarem a seguir em frente.

À família, simplesmente por existirem e estarem presentes.

Profunda gratidão a todos(as).

RESUMO

Este relatório de estágio para o mestrado em Cidadania Ambiental e Participação (MCAP) pretende refletir sobre o tratamento térmico de resíduos urbanos-incineração em Portugal e na Suíça, abordando os parâmetros de rentabilidade e eficiência energética, fundamentando que este processo de tratamento de resíduos apresenta-se como viável e alternativo tanto no painel energético como no tratamento e eliminação de resíduos.

Os resíduos urbanos formalizaram-se uma prioridade das políticas a partir da segunda metade do séc. XX, associados à crescente degradação do ambiente e saúde humana e vistos como recursos face à depleção dos recursos naturais. O aumento dos resíduos *per capita* está diretamente relacionado com o consumismo e procura de qualidade de vida das sociedades modernas e urge uma combinação de estratégias e sistemas integrados que permitam a correta reutilização, reciclagem e deposição dos mesmos. Desde a publicação de normas europeias que proíbem a deposição de resíduos orgânicos em aterros e limitam a deposição de vários tipos de resíduos e a indisponibilidade de novos espaços para este fim, torna-se necessário alternativas que permitam a eliminação de resíduos ao mesmo tempo que garantam condições de salubridade pública e ambiental. Surge assim, a incineração dos resíduos urbanos com produção de energia elétrica como alternativa.

Neste contexto este relatório tem como objetivo a caracterização dos SGR em Portugal e Suíça, mais direcionado para os sistemas com valorização energética por incineração e a avaliação da potencialidade energética em unidades de incineração. Procedeu-se ao acompanhamento, em estágio, de um projeto numa unidade de incineração na Suíça, que previa a instalação de um economizador externo, equipamentos que permitem aumentar o rendimento energético, e a possível aplicação desta metodologia às duas unidades de incineração em Portugal Continental. A avaliação para a instalação de um economizador externo, inclui cálculos termodinâmicos que determinam a viabilidade do projeto e os impactes que o sistema terá, e avaliações no local para determinar espaço físico para a estrutura. Realizaram-se visitas às incineradoras e reuniões com os responsáveis em Portugal, para perceber o funcionamento destas e proceder à recolha de dados. No final não foi possível realizar de forma exaustiva o estudo devido à falta de informações mais detalhadas e pormenorizadas. Contudo é possível concluir que, do sistema analisado na Suíça poderá ser colocado em prática nas incineradoras em Portugal, onde se pode diversificar a produção das incineradoras para a utilização do vapor e a produção de energia elétrica, diversificando os rendimentos obtidos.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Sistemas de Gestão de Resíduos, Modelos de Gestão de Resíduos, Incineração, Energia, Termodinâmica.

ABSTRACT

This research, for Master in Environmental Citizenship and Participation (MCAP) studies the relationship between waste-to-energy (WtE) as a form of municipal solid waste treatment in Portugal and Switzerland and its energetic efficiency and potential in attempt to defend this type of disposable is a viable alternative as well preferable to other forms of disposable pathways such as landfill, as well as a energy source.

Municipal solid waste has become a Government priority since the half 20th Century, associated to environmental problems and contamination and seen as resource to respond to natural resources depletion. The increase of waste *per capita* is directly linked both to consumption and better quality of life of modern societies and demands a combination of strategies and managements systems that allows and priorities the reuse of goods and recycling and a profitable way of disposal. Ever since european framework on landfill prohibit the disposal of organic waste as well limited other types of waste has become necessary to find new ways to address the problem of disposal that assures the public health and environmental safety. Therefor WtE immerges as a viable and efficient alternative both as a disposal and electrical energy production.

In this context, this research addresses the different municipal waste management systems in Portugal and Switzerland, directed to energy recovery systems, thermal waste treatment and evaluates the potential electrical energy production in WtE facilities in both countries. To do so, a project was accompanied by the author, to a WtE facility in Switzerland, in which an external economizer was installed to increase it the energy potential and the possibility to apply the same methodology in both portuguese WtE. This study is based on thermodynamic calculations, to determent the impacts that this equipment will have in the system as a whole and evaluate if there is a potential waste that could be capture and eventually use in the process, and based on evaluation in place to determent if, in fact, there is enough space to apply and built this structure. Both WtE in Portugal were visit and interviews took place with chef's departments, to understand the process and collect data that would allow to stablish the potential. Dude to a lack of detail and specific information, it wasn't possible to make a more exhaustive study. However, is was possible to conclude that the system in Switzerland can be applied in Portugal, were production can be diversified, steam and electrical energy, diversifying incomes as well.

Keywords: Sustainability, Waste management Systems, Waste Management Models, Incineration, Energy, Thermodynamic.

ÍNDICE GERAL:

| | |
|---|----|
| AGRADECIMENTOS | 2 |
| RESUMO | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| ÍNDICE DE TABELAS | 8 |
| LISTA DE ABREVIATURAS | 9 |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 ASPETOS GERAIS E DESCRIÇÃO DO TRABALHO | 10 |
| 1.2 OBJETIVOS | 11 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO | 12 |
| 2. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS | 14 |
| 2.1 ASPETOS GERAIS E EVOLUÇÃO DOS SGR | 14 |
| 2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA: ASPETOS GERAIS DE GESTÃO | 16 |
| 2.3 INSTRUMENTOS E MODELOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS | 18 |
| 2.3.1 INSTRUMENTOS OU FERRAMENTAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA | 20 |
| 2.3.2 MODELOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA | 24 |
| 2.4 LEGISLAÇÃO EUROPEIA PARA RESÍDUOS | 26 |
| 3. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS EM PORTUGAL | 30 |
| 3.1 ENQUADRAMENTO | 30 |
| 3.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL | 34 |
| 3.3 INCINERAÇÃO EM PORTUGAL | 38 |
| 4. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA SUÍÇA | 40 |
| 4.1 ENQUADRAMENTO | 40 |
| 4.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL SUÍÇA: ASPETOS GERAIS | 42 |
| 4.3 INCINERAÇÃO NA SUÍÇA | 45 |
| 5. METODOLOGIA | 49 |
| 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA LIPOR II | 52 |
| 5.2 CARACTERIZAÇÃO DA VALORSUL | 55 |
| 5.3 CARACTERIZAÇÃO DA KVA BUCHS | 57 |
| 6. INCINERAÇÃO OU TRATAMENTO TÉRMICO DOS RESÍDUOS | 60 |
| 6.1 INTRODUÇÃO | 60 |
| 6.2 PROCESSO DE INCINERAÇÃO: COMBUSTÃO | 61 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 6.3 | VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA: VAPOR E ELETRICIDADE | 66 |
| 6.4 | SISTEMAS DE TRATAMENTO..... | 70 |
| 6.4.1 | GASES DE COMBUSTÃO | 71 |
| 6.4.2 | ESCÓRIAS..... | 76 |
| 6.4.3 | CINZAS VOLANTES..... | 77 |
| 6.4.4 | TRATAMENTO DA ÁGUA PARA CALDEIRA | 78 |
| 7. | EFICIÊNCIA ENERGÉTICA..... | 79 |
| 7.1 | TERMODINÂMICA: CONCEITOS GERAIS E INCINERAÇÃO..... | 79 |
| 7.2 | CALOR: AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO | 85 |
| 7.2 | TRATAMENTO DE DADOS..... | 87 |
| 7.2.1 | LIPOR II..... | 87 |
| 7.2.2 | VALORSUL | 89 |
| 8. | CONCLUSÕES..... | 91 |
| 9. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 94 |
| 10. | REFERÊNCIAS DE SITES..... | 99 |
| ANEXO 1: | ENTREVISTA PARA VISITA DE ESTUDO LIPOR E VALORSUL | 103 |
| ANEXO 2: | ITINERÁRIO DA VISITA DE ESTUDO À LIPOR I E II 07/12/2016 | 106 |
| ANEXO 3: | ITINERÁRIO DA VISITA DE ESTUDO À VALORSUL 09/12/2016..... | 107 |
| ANEXO 4: | SISTEMAS DE RECOLHA DA SUÍÇA | 108 |
| ANEXO 5: | DETALHES DAS VÁRIAS INCINERADORAS | 112 |
| ANEXO 6: | COMPONENTES DE INCINERAÇÃO | 116 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Fig.2.1: Hierarquia dos Resíduos | 177 |
| Fig.3.1: Produção de resíduos em Portugal Continental | 30 |
| Fig.3.2: Distribuição do SGR em alta | 31 |
| Fig.3.3: Distribuição de SGR em baixa | 32 |
| Fig.3.4: Processo de recolha de resíduos urbanos | 33 |
| Fig.3.5: Destinos finais dos resíduos | 38 |
| Fig.3.6: Tipos de tratamento de resíduos em Portugal | 39 |
| Fig.4.1: Processo de recolha de RU na Suíça | 40 |
| Fig.4.2: Quantidade de RU reciclados em % por ano | 40 |
| Fig.4.3: Tipo de resíduos reciclados | 41 |
| Fig.4.4: Quantidade de resíduos incinerados em milhões/Ton por ano | 46 |
| Fig.4.5: Distribuição das incineradoras na Suíça | 46 |
| Fig.4.6: Valorização energética dos resíduos | 47 |
| Fig.5.1: Localização geográfica da B&T Engeneering AG | 50 |
| Fig.5.2: Local e Logo da empresa | 41 |
| Fig.5.3: Várias empresas que compõem o grupo B&T | 41 |
| Fig.5.4: Localização geográfica da Lipor II | 53 |
| Fig.5.5: Recolha seletiva | 53 |
| Fig.5.6: Valorização de resíduos em 2017 | 53 |
| Fig.5.7: Resíduos recicláveis recolhidos | 54 |
| Fig.5.8: Central de valorização energética Lipor | 54 |
| Fig.5.9: Esquema geral da Lipor | 55 |
| Fig.5.10: Localização geográfica da Valorsul | 55 |
| Fig.5.11: Recicláveis recolhidos em 2017 | 55 |
| Fig.5.12: Evolução da capitação em 2017 | 56 |
| Fig.5.13: encaminhamento dos resíduos em 2017 | 56 |
| Fig.5.14: Recolha seletiva | 56 |
| Fig.5.15: Central de valorização energética Valorsul | 57 |
| Fig.5.16: Localização geográfica da KVA Buchs | 57 |
| Fig.5.17: Municípios e juntas de freguesia pertencentes à GEKAL | 58 |
| Fig.5.18: Esquemática de FEWAG | 58 |
| Fig.5.19: Condutas da FEWAG | 58 |
| Fig.5.20: Esquema geral da KVA Buchs | 59 |
| Fig.6.1: Esquema geral de uma unidade de incineração | 62 |
| Fig.6.2: Tipos de grelhas | 64 |
| Fig.6.3: Temperaturas comuns na grelha | 64 |
| Fig.6.4: Geradores de vapor..... | 66 |
| Fig.6.5: Permutador de contra corrente | 69 |
| Fig.6.6: Permutador de corrente contínua | 69 |
| Fig.6.7: Sorbit | 72 |
| Fig.6.8: Várias disposições de SCR no sistema de limpeza de gases | 75 |
| Fig.6.9: Várias emissões de amónia na câmara de combustão | 76 |
| Fig.6.10: Vários tipos de tratamento de RCP | 78 |
| Fig.7.1: Esquema ciclo de Rankine | 82 |
| Fig.7.2: Esquema gráfico do ciclo de Rankine | 82 |

| | |
|---|----|
| Fig.7.3: Esquema de reaquecimento de vapor | 84 |
| Fig. 7.4: Diagrama de um sistema de compressão a vapor (a)) e um sistema de absorção de simples efeito (b)) | 85 |
| Fig.7.5: Diagrama do ciclo de compressão a vapor | 87 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1: Tipo de infraestruturas e nº de unidades existentes em Portugal Continental (RAPERSU 2020 em APA, 2018) | 34 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AVALER – Associação de Entidades de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos (equivalente a VBSA na Suíça).

BAFU – Bundesamt für Umwelt

BFE – Bundesamt für Energie

CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants

CIRVER – Centro Integrado de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos

COV's – Compostos Orgânicos Voláteis

GEE – Gases Efeito Estufa

EEA – European Environment Agency

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ESER – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

HCL - Acido Clorídrico

KVA – Kerichtverbrennungsanlage

LER – Lista Europeia dos Resíduos

PAH's – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

RCP -

RU – Resíduos Urbanos

SCP -

SENS – Verwertung Mengen na Elektronischen und Elektrischen Gerät aus dem Haushalt-Bau-Garten und Hobbybereich

SGR – Sistemas de Gestão de Resíduos

SIGRE – Sistema Integrado de Gestão de Resíduos e Embalagens

SMAUT – Sistema Municipal e Autarquias

SPV – Sociedade Ponto Verde

SVTI – Schweizer Verein für Technische Inspektionen

SVUG – Schweizer Verein für Umweltgerecht Getränkeverpackung

SWICO – Verwertung Mengen na Elektronischen und Elektrischen Gerät aus dem Büro und Unterhaltungselektronikbereich

TVA – Technische Verordnung über Abfällen

UVEK – Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

VASA – Verordnung über die Angabe zur Sanierung von Altlasten

VBSA – Verband der Betreiber und Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (equivalente à AVALER)

VEVA – Verordnung über den Verkehr mit Abfällen

VVEA – Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

WtE – Waste to Energy Facilities

1. INTRODUÇÃO

1.1 ASPETOS GERAIS E DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Os resíduos urbanos (RU) apresentam impactos muito nocivos para o ambiente, fauna flora, solo e subsolo, recursos hídricos e atmosfera, e para a saúde pública, e a sua deposição inadequada tem graves consequências. Segundo os dados, da Agência Europeia do Ambiente, o aumento da quantidade de resíduos *per capita* decorrido nas últimas décadas e a previsão de aumento destes nos próximos anos, em conjunto com a problemática do confinamento inadequado, urge uma correta gestão dos RU que deve ser prioridade das políticas públicas nacionais, europeias e internacionais, garantindo um tratamento integrado e ambientalmente sustentável dos resíduos.

Na última metade do séc. XX iniciou-se, de forma lenta, contudo gradual, a uma mudança de paradigma no que respeita aos resíduos, alteração de perspectiva de sem valor e descartável para uma perspectiva de valorização e até mesmo considerado matéria-prima, permitindo a reintegração destes materiais nos ciclos de produção. A reciclagem é o principal processo de triagem de materiais segundo as suas características físico-químicas e reencaminha-os para sistemas e canais específicos, as indústrias retomadoras (Bringezu, 1998).

A reutilização, reciclagem e valorização dos resíduos tem sido, nas últimas décadas uma constante preocupação da sociedade e governos. O consumo excessivo e o não reaproveitamento de materiais provoca um enorme impacto ambiental e condiciona os próprios sistemas de gestão de resíduos. Tendo em conta que os sistemas de recolha e reciclagem de resíduos respondem parcialmente à questão da eliminação e rentabilização destes, existe, ainda, uma parte significativa de resíduos que não é abrangida por estes sistemas dando origem a deposições ilegais, pois nem todos os materiais são passíveis de reciclagem e reutilização, sendo o confinamento final a única solução (Cimpan *et al.*, 2015). E embora os aterros sanitários se apresentem como soluções de deposição, eliminação e recuperação de energia, a nível europeu tem-se apostado noutros processos de eliminação e recuperação energética que visa a eliminação quase total dos resíduos, onde se inclui a incineração ou tratamento térmico com recuperação energética, outra forma de rentabilizar resíduos.

Numa época marcada por grandes e intensos debates, conferências sobre alterações climáticas e os drásticos impactos que estas têm a nível mundial, os protocolos assinados internacionalmente pelos países, referem a responsabilidade assumida por estes em reduzirem as suas emissões de CO₂ obrigando a redirecionarem as políticas energéticas e a reestruturarem o painel energético interno sobretudo na indústria e transportes. A procura de alternativas de produção de energia economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, os compromissos assumidos a nível internacional de redução de 50% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) até 2050 para os mesmos valores registados em 1990, e atendendo que a Europa assumiu a meta de redução de 30% dos GEE até 2020, exige dos países e das suas políticas respostas e estratégias que permitam atingir tais objetivos sem compromisso do desenvolvimento sócio-económico dos mesmos. Surge a “corrida” às energias mais limpas e os investimentos feito nos últimos anos nesta matéria é bem vincado. As metas são ambiciosas, cerca de 40% da energia produzida deve ter como origem energia renovável sendo as mais comuns a energia hídrica, solar, eólica, incineração com recuperação energética. Estas mudanças no panorama energético não são unicamente reflexo das crises

do petróleo decorridas nas décadas de 70 e 90 do Séc. XX, mas sim destas em conjunto com outros fatores alarmantes, a previsão do crescimento populacional, cerca de mais 50% de habitantes nas áreas metropolitanas até 2050, aumenta inexoravelmente o consumo de energia e recursos afetando a capacidade limitada do planeta (recursos naturais) em manter a demanda de consumo (Hatakka, 2009).

Tendo presente os vários sistemas de gestão de resíduos (SRG) e alternativas de confinamento final dos resíduos, aterros sanitários e incineração, bem como as etapas intermédias, separação, valorização e reciclagem, este trabalho, centrado no estágio realizado numa empresa de engenharia, especializada em construção de incineradoras e vários equipamentos relativos ao processo de combustão de resíduos, pretende avaliar a eficiência energética de uma incineradora na Suíça antes e após a instalação de um economizador externo (caso de estudo) e a aplicação de um sistema idêntico nas duas incineradoras em Portugal Continental com o objetivo de aumentar o potencial energético destas.

Recorrendo da metodologia qualitativa e análise documental em associação com um estágio por um período de 6 meses, procurará fazer-se uma caracterização do processo de tratamento térmico dos resíduos como parte integrante dos SGR em Portugal e Suíça e através da metodologia quantitativa procurará fazer-se uma avaliação dos valores de produção energética antes e depois da instalação de um economizador, suas vantagens e desvantagens nas unidades em estudo numa perspectiva enquadrante no âmbito social, ambiental e económico.

Apesar de vários estudos efetuados no âmbito da incineração de resíduos urbanos, processos termodinâmicos, valorização energética e de outros estudos que avaliam o impacto das substâncias resultantes do tratamento térmico dos resíduos, ainda são escassos os trabalhos científicos que foquem, avaliem e comparem eficiência energética dos economizadores externos ou mesmo outras formas de melhoramento da eficiência do processo. Estes estudos parecem assim necessários e pertinentes para promover uma visão mais abrangente das vantagens e desvantagens socioeconómicas e ambientais decorrentes da escolha desta forma de eliminação de resíduos e a posterior instalação de equipamentos de recuperação energética.

Assim o estudo aqui proposto terá como ponto central a avaliação da eficiência energética de três unidades de incineração uma localizada na Suíça e as duas restantes localizadas em Portugal Continental.

1.2 OBJETIVOS

As questões a avaliar e os objetivos do presente trabalho surgiram de várias situações. Resultaram de um estágio que a mestranda frequentou numa empresa suíça sediada em Zurique, responsável pela projeção, planificação, construção e acompanhamento de unidades de tratamento térmico na Suíça. Reflexões no âmbito do mestrado em cidadania ambiental e participação nomeadamente poluição e gestão de recursos, sustentabilidade ambiental, energia e interface Homem-Natureza das áreas de ética e ciências sociais foram outros fatores que suscitaram questões e contribuíram para a criação desta ideia que se concretizou num projeto de estágio.

Pretende-se assim analisar os vários sistemas e equipamentos de recuperação energética nas unidades de incineração em estudo assim como as ações desenvolvidas em ambos os países (Portugal e Suíça) nesta matéria. Pretende-se também analisar a evolução das políticas no

âmbito dos resíduos, qual o processo evolutivo a nível económico e ambiental, e desenvolver uma reflexão sobre a realidade portuguesa em relação à implementação destes equipamentos, economizadores externos, nas incineradoras nacionais. Os objetivos gerais têm assim a seguinte ordem:

- Identificar quais os sistemas de gestão de resíduos em Portugal e Suíça e o respetivo enquadramento legal nacional e europeu;
- Descrever dos processos de incineração implementados em Portugal e Suíça;
- Refletir sobre possíveis melhorias a nível de produção energética nas unidades de incineração em Portugal.

Para concretizar estes objetivos pretende-se analisar e enquadrar as estratégias e sistemas de gestão de resíduos urbanos e a recuperação energética da queima destes tendo como objetivos específicos:

- Identificar as principais referências legislativas de cada país em matéria de unidades de incineração;
- Identificar as principais estratégias de sistemas de gestão de resíduos urbanos em cada país;
- Identificar e caracterizar os aspetos económicos, sociais e ambientais decorridos da opção de tratamento de resíduos por incineração;
- Identificar possíveis melhoramentos de gestão de resíduos urbanos: desafios e potencialidades da recuperação de energia para unidades em Portugal.

No sentido de atingir os objetivos propostos, a metodologia a ser utilizada para a elaboração deste trabalho e a investigação adjacente é essencialmente consulta, análise documental e revisão da legislação em vigor em matéria de incineração em Portugal e Suíça e a caracterização da realidade de cada país quanto ao sistema de gestão de resíduos urbanos e tratamento térmico de resíduos ou incineração.

Através da metodologia de análise quantitativa pretende-se atingir outro objetivo proposto, determinar e comparar a rentabilidade e aproveitamento energético. Para tal, a realização do estágio na empresa B&T Engineering AG sediada em Dübendorf Zurique-Suíça, com o acompanhamento de um projeto que prevê a implementação de recuperadores de energia ou economizadores externos numa unidade de incineração na Suíça.

Em Portugal, realizaram-se entrevistas e diversas visitas em duas unidades, Lipor II no Porto e Valorsul em Lisboa, de forma a compreender quais os sistemas existentes em ambas, que tipos de resíduos são incinerados e quais os conceitos tecnológicos adotados em cada uma para assim estabelecer linhas orientadoras que possam servir de estratégias para a melhoria da eficiência e eficácia energética destas unidades em Portugal.

Pretende-se uma reflexão sobre a gestão dos resíduos urbanos a nível económico, os impactes deste processo em ambos os países e apresentar propostas que visem melhoria da rentabilidade energética e diversificação de produção das unidades nacionais.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação encontra-se organizada em 9 capítulos:

Capítulo 1: Introdução, referência ao enquadramento geral do trabalho e a sua respetiva descrição designadamente o objeto de estudo incineração como processo de tratamento de resíduos e como forma de obtenção de energia. São igualmente referidos os objetivos gerais e específicos que serão a base e o fio condutor do estágio e consequentemente da realização deste relatório/dissertação.

Capítulo 2: Sistemas de Gestão de Resíduos, enquadramento histórico da evolução da gestão de resíduos e do conceito de resíduo, seguindo-se uma descrição de resíduo e sua caracterização. Apresenta-se os fatores que influenciam a sua produção, etapas que compõem um sistema de gestão de resíduos, e os modelos e instrumentos de gestão de resíduos comuns na Europa e também a legislação europeia para os resíduos se referindo as mais importantes em relação ao trabalho acompanhando uma pequena descrição.

Capítulo 3: Sistemas de Gestão de Resíduos em Portugal, enquadramento geral dos SGR, sua evolução, principais marcos e caracterização, com breve descrição da principal legislação que opera em matéria de resíduos e os aspetos gerais da incineração em Portugal.

Capítulo 4: Sistemas de Gestão de Resíduos na Suíça, enquadramento e caracterização dos SGR, descrição da sua organização, identificação e descrição da principal legislação em vigor para os resíduos e aspetos gerais da incineração na Suíça.

Capítulo 5: Metodologia, descreve os procedimentos para a realização deste relatório, as tarefas desenvolvidas em estágio, as visitas realizadas, caracterização da Lipor II, Valorsul e da KVV Buchs, e descrição do desenvolvimento do trabalho.

Capítulo 6: Incineração ou Tratamento Térmico dos Resíduos, descreve a evolução, identificação, caracterização e descrição do processo incineração/combustão, descreve a valorização energética, caracterização e descrição do processo de produção de vapor e eletricidade, e descreve os sistemas de tratamento onde se inclui os vários processos de combate à poluição acompanhando uma curta descrição dos mesmos.

Capítulo 7: Eficiência Energética, termodinâmica, conceitos gerais e termodinâmica em incineração, arrefecimento e aquecimento descrição dos processos e tratamento de dados.

Capítulo 8: Considerações Finais-Conclusão, Conclusões face aos resultados obtidos, dificuldades sentidas, prováveis melhorias e considerações para estudos futuros.

Capítulo 9: Referências Bibliográficas

Capítulo 10: Referências de Sites

Anexos

2. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS

2.1 ASPETOS GERAIS E EVOLUÇÃO DOS SGR

Os resíduos são um problema desde que o ser humano deixou o nomadismo e optou pelo sedentarismo passando a uma distribuição mais localizada e concentrada da população contribuindo desta forma para o aumento da densidade dos grandes centros urbanos e como consequência o aumento dos resíduos urbanos. Segundo o historiador M.V. Melosi (2004) o primeiro registo de uma lixeira data 500 a.C. em Atenas concebida pelos gregos desenvolvendo os primeiros passos para planos de saneamento e deposição de resíduos. Já a primeira prática de compostagem remonta 2000 a.C. em Knossos- Creta (Gonçalves e Martinho, 2002) e existem referências da prática de deposição dos resíduos no interior das habitações sendo cobertos periodicamente, e o lançamento dos resíduos orgânicos para as vias públicas servido deste modo de alimento para animais semi-domésticos, desde a Idade do Bronze. Durante o domínio do Império Romano, Roma com forte densidade populacional, enfrentou os mesmos problemas em relação aos desperdícios, seu confinamento e saneamento, embora tenha demonstrado respostas efetivas a esta problemática, como é exemplo o famoso Aqueduto *Cloaca Maxima* (Melosi, 2004), a prática de despejar os resíduos e desperdícios domésticos para a rua ou em lixeiras às portas das cidades foram recorrentes até à Época Medieval que culminou com a explosão da Peste Negra na Europa e as respetivas consequências catastróficas (Gonçalves e Martinho, 2002). Surgem as primeiras medidas para o melhoramento da qualidade de vida e saúde pública das cidades como por exemplo a pavimentação das ruas de Paris e Augsburg (as primeiras a cidades europeias a possuírem ruas pavimentadas) (Melosi, 2004).

Contudo foi com a Revolução Industrial que a produção de resíduos e poluição atingiram uma dimensão sem precedentes, consequência do aumento da concentração populacional nos meios urbanos e da mecanização dos processos de produção que permitiu o aumento da oferta de produtos bens e serviços, implicando maior consumo. Já a deposição inadequada dos resíduos causou o aumento significativo de problemas de saúde pública e ambiental. No final do séc. XIX, surgiram os primeiros sistemas de gestão de resíduos, planos e infraestruturas de saneamento associados aos serviços municipais, responsáveis pela manutenção, recolha, limpeza e drenagem, mas caracterizados como rudimentares pois a deposição dos resíduos era realizada indiscriminadamente em lixeiras a céu aberto. Apesar de rudimentares estas iniciativas demonstraram o início da noção de que os resíduos carecem de tratamento e confinamento. O segundo grande marco da História que catalisou o aumento de resíduos foi o Pós Segunda Grande Guerra, desacelerado pela crise petrolífera de 1973 provocada pela Guerra de Yon Kipur e mais tarde pela Guerra do Golfo na década de 90 (Afonso e Tomás, 2011).

Estes dois grandes eventos da História Moderna demonstram a correlação positiva entre o aumento da quantidade de resíduos e o principal fator que influencia a produção destes, fatores sócio-económicos. Como fatores sócio-económicos entende-se a adesão das mulheres ao mercado de trabalho, a alteração dos hábitos alimentares opção de alimentos pré-cozinhados, escolha de materiais de durabilidade limitada, descartáveis, habilitações escolares, poder de compra das famílias e desenvolvimento industrial das áreas urbanas (Afonso e Tomás, 2011).

As primeiras abordagens efetivas ao problema dos resíduos urbanos surgiram entre as décadas 30 e 40 do séc. XX na Inglaterra e visavam o tratamento de resíduos através de aterros sanitários, reciclagem de papel e vidro (Gonçalves e Martinho, 2002). Nos anos 60 séc. XX iniciou-se a prática de integração de modelos de gestão de resíduos nas políticas e estratégias nacionais, contudo eram caracterizados como pouco elaborados e simplórios, englobavam coleta, unidades de tratamento e deposição final sem qualquer abordagem holística (Eriksson, Olofsson e Ekvall, 2003).

Na década de 80 séc. XX, segundo Morrissey e Browne (2004) e em resposta às sucessivas crises ambientais e devido ao desenvolvimento tecnológico nomeadamente na área da computação, iniciou-se a integração de várias variáveis e cruzamento de dados, podendo realizar simulações. Surgem os primeiros passos para a integração dos sistemas de gestão de resíduos, embora caracterizados pelo défice de estratégias de prevenção e minimização do consumo, valorização e reutilização dos materiais, visavam sobretudo uma abordagem pós-produção. Nos anos 90, com a introdução de novo conceito de resíduo, que não existe só no final do processo de produção, nem é exclusivo desperdício do consumidor, mas também produzido durante o processo de manufatura, apresenta uma visão mais global e extensiva, abrangendo a redução de resíduos em todas as etapas desde extração de matéria-prima, produção, produto final, compra, uso e eliminação. Esta mudança de abordagem impulsionou uma nova perceção de resíduo, passando de descartável e sem valor para valor, criando um conceito novo e a retribuição de responsabilidades tanto aos consumidores como produtores. Incentiva-se a priorização da reciclagem pós consumo e extensão desta a todo o processo de produção complementada pela abordagem ACV (Análise do Ciclo de Vida, acrónimo inglês LCA-Life Cycle Analysis) dos materiais de forma a garantir a circulação destes num circuito fechado garantindo a produção, reciclagem e reaproveitamento. A alteração das políticas nacionais neste sentido é notória e para funcionarem e garantirem os objetivos de sustentabilidade estas têm de ser ambientalmente sustentáveis, economicamente atrativas e socialmente participadas e aceites (Afonso e Tomás, 2011; Gonçalves e Martinho, 2002).

Os SGR têm evoluído muito ao longo das últimas décadas, à medida que o público e os governos vão tomando consciência que os recursos naturais existem de forma limitada, que a sua reposição não ocorre à mesma velocidade a que são consumidos e que o consumo desenfreado das sociedades modernas tem de ser reduzido. Estes sistemas são caracterizados pela sua complexidade, transversalidade, grande número de partes interessadas (comunidades, governos, consumidores, produtores, organizações de defesa do ambiente, etc.), tornando-os lentos e quase obsoletos na sua mutação comparativamente à velocidade de consumo e o surgir de novos produtos, havendo uma urgência de criação de normas legislativas mais eficientes e eficazes recorrendo aos avanços tecnológicos para atingir os objetivos (Pires, Martinho e Chang, 2011).

Assim os SGR devem abranger e simultaneamente interceder diversas etapas: recolha, transporte, triagem, reciclagem, valorização e confinamento (Dias, 1997), e abordar várias vertentes sendo a mais comum a análise ACV e sobretudo incluir a interseção de três componentes básicas: social, ambiental e económica (Morrissey e Browne, 2004). Contudo esta integração e interseção das componentes nos SGR nas tomadas de decisão (estratégias e planos) nem sempre ocorre, sendo a situação mais comum a inclusão de uma componente, normalmente a económica, ou máximo duas (económica e social), resultando em sistemas frágeis e fracos quanto à estrutura e objetivos, obsoletos quanto à estabilidade e durabilidade dos planos e estratégias, sobretudo quando a tendência é o aumento dos resíduos nas

próximas décadas, com sérias dificuldades em responder à complexidade do sistema (Morrisey e Browne, 2004).

2.2 SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA: ASPETOS GERAIS DE GESTÃO

Segundo a Lista Europeia de Resíduos, os resíduos definem-se como qualquer substância ou objeto sujeito a eliminação e que nesta estejam identificados, sendo que os resíduos urbanos são os provenientes das habitações ou cuja natureza ou composição a estes se assemelhe (DL n° 178/2006 de 5 de Setembro).

Os resíduos e a sua gestão apresentam um enorme desafio, englobando diversas variáveis a grandes escalas e, embora o desenvolvimento tecnológico e educação ambiental intervenham proporcionando grandes avanços nestas matérias, os problemas e dificuldades são evidentes, sendo os mais comuns, o crescente aumento de produção de resíduos por habitante; a falta de locais apropriados para confinamento final; elevados investimentos necessários em estratégias de prevenção e minimização dos riscos ambientais e no tratamento de resíduos; dificuldades de adaptação dos SGR às constantes mudanças e flutuações de consumo e produção de resíduos; necessidade de intervenção de diversos agentes e *Steacholders* nos processos de participação pública e estratégias dos SGR; e pouco incentivo à educação ambiental (Afonso e Tomás, 2011).

Os principais fatores que condicionam e determinam as problemáticas atrás mencionadas são:

i) **Fatores sociais:** urbanização, deslocamento das populações para grandes centros urbanos, aumenta a concentração dos resíduos; aumento da população agregado ao aumento do consumo; aumento dos produtos industrializados e manufaturados origina mais embalagens; alteração dos hábitos alimentares, opção por comidas pré-cozinhadas e embaladas e mudança dos padrões e valores de consumo, materiais com durabilidade mais reduzida e descartáveis.

ii) **Fatores económicos:** maior poder de compra das diversas classes sociais; produtos mais acessíveis; e incentivo ao consumo e aquisição de produtos.

Todos estes fatores contribuem para a heterogeneidade dos resíduos urbanos, com composições químicas e físicas mistas e distintas (Thomé-Kozmiensky e Thiel, 2009), o que reflete automaticamente na eficácia e qualidade das estratégias para a sua gestão, assim como a eliminação e deposição, encadeados com as questões culturais e sociais refletoras dos hábitos de consumo e estilos de vida (Buchholz, 2003).

A gestão de resíduos envolve diversas componentes combinadas entre si, que priorizam determinadas práticas, onde se inclui as características demográficas, sociais e económicas locais e um estudo prévio sobre o tipo de resíduos produzidos (Buchholz, 2003). A evolução destes sistemas é notória e é uma área muito fecunda para o desenvolvimento tecnológico, criação de novos processos de reciclagem, produção e introdução de matérias-primas outrora resíduos, salvaguardando os recursos naturais (Cimpan *et al.*, 2015). As dificuldades que os SGR enfrentam são sociais, económicas e ambientais e a interseção destas com práticas de gestão e estratégias associadas ao facto de os SGR serem estabelecidos a curto prazo, 5 a 10 anos, e sofrerem constantemente alterações e reestruturações variando segundo os resíduos

produzidos e de acordo com a legislação que os acompanha (Pires, Marinho e Chang, 2010; Thomé-Kozmiensky e Thiel, 2009).

A análise e estudo dos sistemas é ferramenta fundamental e um elo de ligação entre a produção de resíduos, as componentes social, económica e ambiental e as estratégias de gestão, a fim de dar resposta ao problema, permitindo uma abordagem transversal e multidisciplinar, indispensável para os Governos e *Steackholders* na tomada de decisão e desenvolvimento de políticas sustentáveis e duradouras (Pires, Martinho e Chang, 2010). Surge assim uma nova denominação Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos, GIRS, definida como o conjunto de medidas que visam a redução da produção de resíduos durante todas as etapas de vida dos produtos, garantindo a redução do risco de perigo e quantidade e assegurando uma gestão ambientalmente sustentável preservando os recursos naturais e evitando o agravamento da poluição (Afonso e Tomás, 2011).

Os resíduos são classificados segundo os seguintes critérios:

- a) Fonte produtora: domésticos, industriais, hospitalares
- b) Composição física: papel, vidro, metal, plástico
- c) Composição química: orgânicos e inorgânicos
- d) Propriedade em relação ao sistema: Biodegradáveis, combustíveis
- e) Perigosidade: nocivos, tóxicos, explosivos

Sendo esta classificação variável de país para país visto que é da responsabilidade de cada um as classificações adotadas (Afonso e Tomás, 2011).

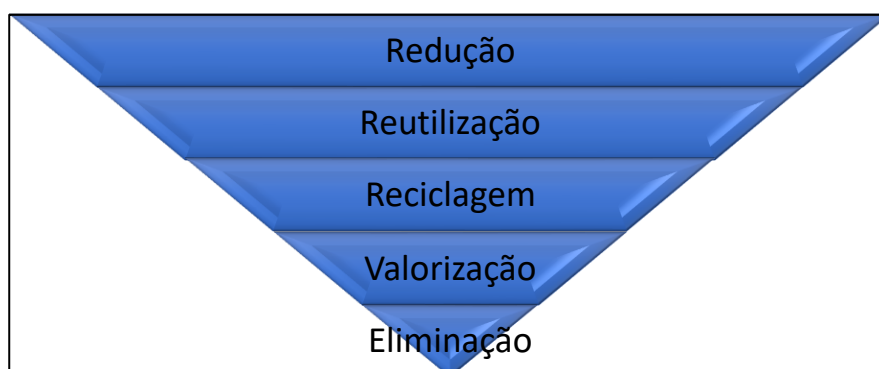


Fig.2.1: Hierarquia dos Resíduos (APA, 2018)

A hierarquia dos resíduos permite estabelecer opções de gestão dos resíduos, as prioridades de tratamento e formas de valorização (Fig.2.1). Apresentam-se numa pirâmide invertida porque a parte maior é precisamente a base da pirâmide e simboliza o foco das metas em matéria de resíduos. Assim tem-se redução, quantitativa, redução da quantidade produzida, e qualitativa refere à sua perigosidade. A reutilização significa escolher embalagens e outros materiais que possam ser usados mais que uma vez (várias vezes). A reciclagem garante a utilização dos resíduos para outros fins, como por exemplo o vidro ou metal. A valorização assegura a reutilização dos resíduos como matéria-prima noutros processos e eliminação, a última etapa onde resíduos que não foram retirados nas etapas anteriores, são depositados em aterros ou incinerados (APA, 2018). Os SGR englobam toda e qualquer atividade de recolha ou coleta, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação (DL n°178/2006 de 5 de Setembro) e estas atividades constituem as principais etapas num SGR.

Os principais elos da cadeia dos SGR são: **i) redução na fonte:** o conjunto de medidas e atividades que permitam a redução da quantidade de resíduos onde estes são produzidos, consumidos com o objetivo de reduzir a pressão nos ecossistemas e recursos naturais, redução da poluição; **ii) valorizar:** conjunto de medidas que permitem a separação dos resíduos segundo as suas características físico-químicas (papel, cartão, vidro, têxteis, orgânicos, etc) e aqui a legislação, educação ambiental e responsabilidade civil exercem grande influência no sucesso destas etapas e com o sucesso desta fase é possível aliviar a pressão nos SGR sobretudo a nível da recolha e deposição; **iii) tratamento:** elo que inclui as etapas coleta, transporte, triagem e deposição e após a separação e valorização alguns resíduos apresentam características muito heterogêneas e em alguns casos com risco de contaminação são encaminhados para unidades de transferência, incineração ou aterro sanitário para tratamento tecnológico garantindo a qualidade ambiental e humana; **iv) deposição:** processo caracterizado pela armazenagem final, em condições de segurança através do controlo monitorização e impermeabilização dos locais no caso dos aterros e monitorização no caso da incineração, de forma a evitar contaminações ambientais e perigo para saúde humana (Thomé-Kozmiensky e Thiel, 2009).

2.3 INSTRUMENTOS E MODELOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS

Ao longo das últimas décadas vários (as) autores (as) procuraram formas de classificar ou organizar os diversos modelos que suportam os SGR, mas devido à sua abrangência, transversalidade e universalidade, dimensionar e classificar torna-se uma tarefa difícil e complexa.

Em 1996, a autora McDonald no seu artigo *Solid Waste Management Models: State of the Art Review* procura uma forma de classificar os modelos desenvolvidos e destes identificou 15 modelos e classificou-os segundo as suas características em 9 tipos: 1 - Waste Generation Prediction (WG); 2- Facility Site Selection (FS); 3 – Facility Capacity Extetion (FC); 4 – Facility Operation (FO); 5 - Vehicle Route (VR); 6 – Mannpower Assigment (MA); 7 – Over-all System Operation (OS); 8 - System Seheduling (SCh) e 9 – Waste Flow (WF). Esta classificação focada nos sistemas existentes entre 1960-1970, demonstra ausência de abrangência visto que se centrava em elementos funcionais e práticos dos sistemas em causa, como por exemplo determinar e avaliar as rotas de coleta, averiguar locais de deposição e armazenamento e capacidade destes, tornando-os muito limitados quanto à complexidade do problema resultando em falsos orçamentos pois as etapas eram avaliadas individualmente e não no seu conjunto.

Böjrkklund (1998) desenvolveu os critérios e metodologias de McDonald com a introdução de novos parâmetros como estático/dinâmico, input/output, optimização multicritério. Contudo e apesar de novos parâmetros ainda não foi possível atingir o objetivo proposto devido à transversalidade de alguns modelos.

Rogers (2001) considerou dois tipos de modelos: **a) Modelos de Metodologias Optimizadoras**, visa o princípio que objetivos diferentes podem equacionar-se segundo um denominador comum ou uma escala comum e **b) Modelos de Metodologias de Compromisso**, parte do pressuposto que os decisores não possuem todo o conhecimento, limitação devido à transversalidade da temática e que estes têm a sua capacidade decisiva afetada devido à lacuna da falta de conhecimento (Rogers, 2001; Morrissey e Browne, 2004). Estes modelos tal como os anteriores apresentam limitações, no primeiro modelo no caso de perda de um

objetivo toda a cadeia fica comprometida e o termo valorização refere-se à apreciação financeira e no segundo modelo existe uma interdependência de compromisso entre prioridade de objetivos e metodologias implementadas para atingir os objetivos propostos (Morrisey e Browne, 2004).

Os autores Morrisey e Browne (2004) foram os seguintes a tentar desenvolver um sistema de classificação de modelos de GR. Segundo estes autores, estes dividem-se em 3 categorias: **i) modelos baseados em análise de custo-benefício** garantindo aos decisores uma perspetiva negativa/positiva dos vários cenários com recurso à escala monetária para quantificar os impactos, ou seja, qualquer impacto ambiental é quantificado em termos económicos; **ii) modelos baseados na análise do ciclo de vida (ACV)** visa o estudo dos aspetos ambientais e impactos que um determinado produto apresenta durante o seu tempo de vida (matéria-prima, produção, uso e deposição final); **iii) modelos baseados em técnicas multi-critérios**, visa a avaliação das várias hipóteses e alternativas apresentando diversos cenários e várias soluções para os problemas e incluem o estudo de impacte ambiental (EIA) e avaliação de risco. Contudo esta forma de classificação apresenta alguns défices, não apresenta critérios concretos de classificação e os modelos incluídos no grupo dos modelos baseados em técnicas multicritérios recorrem aos instrumentos de ACV ou ao estudo custo-benefício como ferramenta de auxílio para tomada de decisão (Stypka, 2011). Outra crítica apontada é o facto de as três classificações não incluírem a componente social nem os aspetos intergeracionais ambientais da problemática tornando-se não sustentáveis neste posto de vista embora reconheçam os três pilares dos SGR: sustentabilidade ambiental, social e económica (Morrisey e Browne, 2004).

O autor Stypka, (2011), dividiu os modelos em três categorias segundo critérios de cores: **i) modelos brancos**: inclui modelos baseados em programas lineares desenvolvidos nas décadas de 60-70 caracterizados como modelos que apenas abordavam uma etapa dos SGR, a recolha ou coleta e os custos desta, desenvolvendo os pontos de recolha com rotas mais económicas, rápidas e eficientes em termos de coleta. Tendo em conta que os maiores custos ocorrem precisamente nesta fase, faz todo sentido que os primeiros modelos dessem passos relevantes nesse sentido. Na década de 80, pela primeira vez, introduziu-se a componente ambiental e a ferramenta ACV nos modelos; **ii) modelos cinzentos**: inclui modelos que apesar de desconhecido os valores exatos e concretos é possível determinar os impactos dos SGR. São contudo modelos matemáticos complexos e não apresentam grandes soluções para a problemática dos resíduos e seus impactos no meio ambiente bem como políticas de redução de quantidade e perigosidade; **iii) modelos verdes**: modelos que consideram o desenvolvimento sustentável, ou seja, incluem as três principais componentes, económica, social e ambiental recorrendo a ferramentas como ACV entre outras que priorizam a reutilização, a reciclagem e valorização dos materiais em circuitos fechados.

Pires, Martinho e Chang (2011) dividem os SGR em **Systems Engineering Models, Modelos de sistema de engenharia**: modelos que abordam as instalações de transferência, tratamento, transporte e deposição dos resíduos, consideram a componente física dos sistemas de gestão de resíduos, opção tecnológica mais adequada e apropriada bem como opções de gestão e planeamento mais eficientes e economicamente mais viáveis. Modelos incluídos nesta categoria são: Análise de Custo-Benefício (ACB), OM - Optimization Models – Modelos de Otimização, SM - Simulation Models – Modelos de Simulação, FM - Forecasting Models – Modelos de Previsão e IMS - Integrated Modeling Systems – Sistemas de Modelos Integrados; **Systems Assessment Tools, Ferramentas ou Instrumentos de Estudo de Sistema**:

normalmente usados após a implementação das componentes de SGR para avaliar a sua eficácia e eficiência visando novas formas de melhoramento e desafios existentes, sempre em constante renovação e segundo a regulação normativa em termos ambientais e de resíduos. Alguns instrumentos ou ferramentas auxiliares nestes processos são: MIS-Management Information Systems -Sistemas de Gestão de Informação, considera a troca de informação e a sua gestão, DSS-Decision Supporting Systems – Sistemas de Suporte de Decisão, desenvolve um conjunto de hipóteses/supostas etapas que visam caracterizar diferentes cenários de tomada de decisão; ES-Expert System – Sistema Especialista; SD - Senario Development – Desenvolvimento de Cenários; MFA Material Flow Analysis – Análise do Fluxo dos Materiais; LCA - Life Cycle Analysis – Análise do Ciclo de Vida; RA - Environmental and Ecological Risk Assessment - Estudo do Risco Ecológico e Ambiental; EIA - Environmental Impact Assessment – Estudo de Impacte Ambiental; SEA - Strategic Environmental Assessment – Estudo Estratégico Ambiental; SoEA - Socio-Economic Assessment - Estudo Sócio-Económico e SA - Sustainability Assessment – Estudo de Sustentabilidade. Segundo os autores estas duas classificações possuem ramificações entre si e funcionam em conjunto sobretudo quando se usa Ferramentas/Instrumentos de Estudo de Sistema apropriada intensificando o impacto de otimização nos SGR.

Na Europa, o crescimento da população e flagelo da migração tanto interna como externa são aspetos fundamentais que influenciam diretamente os resíduos, nomeadamente o aumento de volume e a sua composição que terá impactos nas etapas posteriores do sistema como: coletas mais frequentes, veículos e unidades de transferência com maior capacidade volúmica, maior volume de resíduos depositados em aterros reduzindo o período de vida destes, maior capacidade volúmica das fossas em unidades de incineração e aumento da capacidade de queima e os elevados custos económicos, sociais e ambientais decorrentes destes aumentos. Por estas razões, os SGR, enfrentam vários desafios e dificuldades desde o planeamento das infraestruturas, unidades de transferência, sistemas e rotas de coleta e a frequência destas, pontos de reciclagem e sua distribuição, deposição final (aterro e/ou incineração) e a interligação e intersecção com as componentes sociais, ambientais e económicas (Pires, Martinho e Chang, 2011).

Pelas razões atrás referidas e o facto dos diversos Estados-Membros apresentarem características económicas, sociais e ambientais muito distintas, e conseqüente expansão da União Europeia, refletem a diversidade e heterogeneidade de sistemas de gestão de resíduos e dos modelos adotados pelos vários países. Contudo apesar das diferenças e devido às Diretivas Europeias para o Ambiente e Resíduos existem alguns pontos comuns em todos os sistemas como Avaliação do Ciclo de Vida, Resíduos Urbanos Biodegradáveis, SPV-Sociedade Ponto Verde. Alguns países recorrem a outros instrumentos de forma a complementar a eficácia do sistema como o PAYT-Pay-As-You-Trow, taxa sob os resíduos orgânicos, garantindo que estes entram no circuito de compostagem e como forma de incentivo à redução (Pires, Martinho e Chang, 2011).

2.3.1 INSTRUMENTOS OU FERRAMENTAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA

Segue-se uma breve descrição das várias ferramentas de gestão de resíduos comuns na Europa.

Análise do Ciclo de Vida – ACV: (Life Cycle Assessment - LCA). Ferramenta ou instrumento de auxílio no processo de gestão de resíduos, permitindo o alargamento de perspetivas para além de próprio sistema (Ekvall *et al.*, 2007). Esta ferramenta é muito comum na Europa, sobretudo na tomada de decisão referente à gestão de resíduos e pode ser incorporada por diversos modelos. Esta metodologia foi introduzida nos SGR nos anos 90 nos SGR com o objetivo de transmitir informação importante sobre transformações do sistema e como estas o afetam sem que seja necessário por parte dos atores, decisores e *stakeholders* um conhecimento profundo e científico da matéria (Wikler e Bilitewski, 2007). Compacta informação e diversas variáveis, avalia como estas variáveis interferem nos diversos cenários e qual o desfecho destes, transmitindo de forma acessível as possibilidades e seus resultados. Este instrumento foi desenvolvido nos anos 80 e 90 na Europa e EUA e estandardizada pela Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) com a ISSO-LCA (Allesch e Brunner, 2015). A International Standard Organization (ISO), desenvolveu normas que definem os princípios e módulos da ACV, que foram ratificados ao longo do tempo e visa fornecer metodologias e parâmetros para sua aplicação (Ferreira, 2004; Finnveden *et al.*, 2006 e ISSO 14040:2006).

Esta norma de ACV é composta por 4 etapas: **i) definição de objetivos**, definição e descrição de um produto, processo ou atividade e estabelece os módulos da avaliação e seu âmbito, e identifica limitações e potenciais efeitos no ambiente; **ii) análise de inventário**, identificação e quantificação de energia, água e materiais usados durante o processo ou atividade; **iii) análise de impacto**, análise a avaliação dos impactos humanos e ecológicos provenientes do uso de energia, água e materiais; e **iv) interpretação de resultados**, avaliação e análise dos resultados obtidos nas anteriores duas etapas de forma a selecionar o produto, serviço ou atividade que apresente impactes reduzidos (Ferreira, 2004; Finnveden *et al.*, 2006 e ISSO 14040:2006). A maior vantagem proveniente do uso deste instrumento é a identificação dos impactes ambientais e a quantidade de informações obtidas sobre a temática nas diversas etapas de produção e como essa transferência decorre (Ferreira, 2004) versus a desvantagem de apresentar-se como um estudo demoroso e oneroso e não identifica qual/quais o(s) processo(s), produtos(s) melhor(es) no que respeita ao funcionamento e ao custo da operação (Ferreira, 2004). Por estas razões esta ferramenta não é *per se* um modelo de apoio à decisão, mas sim um auxiliar que, em combinação com outras ferramentas e modelos pode transmitir uma ideia mais holística do problema (Ekvall *et al.*, 2007; Ferreira, 2004; Finnveden *et al.*, 2006).

Análise do Custo-Benefício - ACB (Cost Benefit Analysis- CBA): conceito desenvolvido por J. Dupuit devido à sua preocupação com o custo-benefício da construção de uma ponte (Allesch e Brunner, 2015). Este instrumento é capaz de lidar com as diversas problemáticas sobretudo extensas e completas como a problemática dos resíduos e a sua gestão (Moutavitchi *et al.*, 2010) é uma ferramenta bem documentada em diversos estudos e textos sobre economia ambiental (Finnveden *et al.*, 2006). Incorpora aspetos muito importantes e relevantes e determina a duração a aplicabilidade de políticas e seus impactos nos diversos setores económico, social e ambiental, auxilia a tomada de decisão e possui versatilidade suficiente para ingressar qualquer modelo de gestão de resíduos (Moutavitchi *et al.*, 2010). A maior vantagem desta ferramenta é o facto de transmitir de forma muito compreensiva uma ideia, devido à simplicidade da informação nela contida e a redução das variáveis a um fator comum, o monetário (Morrissey e Browne, 2004). Contudo este modelo levanta algumas questões morais e éticas, se em economia será fácil quantificar monetariamente o valor de

uma determinada operação e seus componentes, quando se entra no âmbito ambiental e social as coisas deixam de ser simples e lineares e atribuir valor monetário a componentes social e ambiental torna-se uma tarefa praticamente impossível.

Análise do Custo de Vida - ACV (Life Cycle Costing - ACV) é uma ferramenta que analisa os custos do produto ou de um serviço durante o seu período de vida (Finnveden *et al.*, 2006) como por exemplo o custo de uma unidade de incineração. Embora esta ferramenta não tenha sido versada inicialmente para a componente ambiental, com alguns ajustes aos parâmetros e pode ser utilizada como auxiliar no processo de tomada de decisão (Glusch e Baumann, 2004), sobretudo quando associada à ACV (LCA), permitindo aos decisores uma perspectiva mais clara e concreta dos impactes ambientais e os custos destes a longo prazo (Norris, 2001). Segundo Simões *et al.*, 2013, esta integração e intersecção consiste numa associação paralela das duas metodologias, estudo do período de vida de um produto em paralelo com o estudo do custo desse produto durante o seu período de vida, segundo os critérios das normas ISO14040:2006 e ISO 14044:2006 durante o processo de produção. Esta interação permite uma quantificação de energia, emissões e quantidade de materiais necessários. Um grande argumento contra este instrumento é o facto de LCC “tradicional” ser uma ferramenta usada no mundo da economia com valores bem mesurados e partir do pressuposto que os decisores têm *à priori* completa noção e conhecimento dos factos e dispõem de todas as informações necessárias à tomada de decisão (Finnveden *et al.*, 2006; Glusch e Baumann, 2004). Tal princípio não é aplicável ao ambiente, é necessária uma perspectiva mais ampla, flexível e mais holística do problema para lidar com as incertezas relacionadas com o ambiente, como por exemplo o comportamento humano ou o valor intrínseco do ambiente, difíceis de mesurar logo um obstáculo ao racional imposto pela ferramenta “tradicional”. Daí e demonstrado em diversos estudos, que a integração de LCC com LCA possa colmatar esta falha e apresentar viabilidade à dificuldade do instrumento original, pois permite uma vista geral e a tentativa de minimizar os impactos ambientais, sociais e económicos (Simões *et al.*, 2013).

Avaliação de Risco - AR (Risk Assessment - RA): define-se como o estudo que pretende determinar os possíveis e prováveis impactos ou efeitos adversos decorrentes de atividades humanas sobre o ambiente e a saúde pública e complementa os estudos de impacte ambiental (ERA,2000). É uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que pode ser aplicada nas mais diversas situações, desde estudos com dados escassos e simples a estudos mais complexos que envolvem grande quantidade de dados e sistemas complexos, transmitindo informação clara e sucinta identificando os riscos nos diversos cenários apresentados, permitindo emitir pareceres aos diversos *Stakeholders* envolvidos no projeto (ERA, 2000; Finnveden *et al.*, 2006). Vantagens da aplicação desta ferramenta é a sua flexibilidade e aplicabilidade a qualquer cenário independentemente da quantidade e qualidade dos dados que se possui, tornando-se um instrumento científico aceite e baseado em ciência permitindo a identificação de riscos, suas consequências e formas de gestão destes (ERA, 2000). Desvantagens, deste instrumento, a relatividade do conceito risco entre os diversos participantes e a falta de consenso em relação aos conceitos de stress dos ecossistemas e a capacidade de recuperação destes.

Análise do fluxo de material - AFM (Material Flow Accounting - MFA): ferramenta que analisa o fluxo dos materiais ao longo de um determinado sistema num determinado período, desde a sua extração, transformação, manufatura, consumo, reciclagem e deposição final, quantificando entrada e saída de materiais durante as diferentes etapas (Bringingu, 1998;

Brunner e Rechberger, 2004). É essencialmente usada na etapa da reciclagem e unidades de tratamento e transferência, permitindo que os materiais sejam devidamente inseridos no processo de reciclagem e reaproveitamento (Bringenzu, 1998). O recurso a este instrumento é muito atraente devido à sua flexibilidade e adaptação a diversas áreas como medicina, economia, social e ambiente e permite grande compreensão da problemática, informação simples e compacta que auxilia os decisores na tomada de decisão para o melhor cenário (Allesch e Brunner, 2015). Apesar das semelhanças entre AFM e ACV, estes são diferentes. AFM é como um inventário para ACV e é limitada ao número de substâncias usadas e ACV não apresenta estas duas dificuldades (Gregory, 2000).

Avaliação de Impacto Ambiental - AIA (Environmental Impact Assessment - EIA) é uma ferramenta processual que apoia a tomada de decisão e desenvolvimento de um projeto. É muito recorrente e tem como objetivo principal identificar os impactos ambientais decorrentes de um projeto ou atividade e quantificar esses impactos a curto, médio e longo prazo tendo em conta as componentes sociais, económicas e ambientais (Partidário e Jesus, 2003). Apresenta uma abordagem diferente do estudo analisando o custo, impactos negativos, benefícios e impactos positivos, correlacionando causa-efeito e com as componentes sociais e ambientais que dificilmente são quantificadas e mesuradas monetariamente. O conceito de EIA surgiu nos EUA em 1969 na Lei Nacional de Política Ambiental onde previa os primeiros parâmetros e módulos de um EIA. Na Europa surge na década de 80, em 1985, e prevista na Diretiva n°85/337/CEE, serviu de plataforma para as políticas ambientais dos EM e base para alicerçar o modelo europeu de EIA (Partidário e Jesus, 2003). Contudo este instrumento processual é benéfico e produz resultados se existir uma interação entre EIA e o processo de tomada de decisão. Apesar do seu grande peso como ferramenta de elite no âmbito de gestão ambiental esta apresenta alguns problemas de processo como ambiguidade, se por um lado fornece apoio à tomada de decisão informando sobre impactos positivos e negativos, por outro é um instrumento de gestão ambiental permitindo o avanço ou vetando um projeto (Partidário e Jesus, 2003). A ambiguidade acarreta outra problemática, o abuso deste instrumento para impedir o desenvolvimento por parte dos grupos ambientais e administração (Partidário e Jesus, 2003). Existe muita confusão com Avaliação de Impacto Ambiental e Estudo de Impacto Ambiental. No caso da AIA é uma ferramenta processual que compõe a seleção de ações, definição de âmbito, elaboração, revisão decisão e monitorização. Já o EIA é um documento, é fundamental no processo da AIA. Trata-se de um relatório que comporta grandes investimentos técnico-financeiro devido à realização de inventários, levantamento de campo e caracterização do ambiente (Partidário e Jesus, 2003).

Avaliação Ambiental Estratégica ou Avaliação Estratégica de Impactes - AEI (-Strategie Environmental Assessment - SEA): instrumento de gestão ambiental de âmbito estratégico que visa o apoio à tomada de decisão, por exemplo, em políticas para a energia, transportes resíduos etc. Atua nas estratégias e ordenamento do território, nos planos nacionais, setoriais e locais como instrumento auxiliar que visa identificar, avaliar e mitigar os impactos negativos para que os decisores possam adquirir todas as informações possíveis permitindo uma visão mais ambiental do processo e garantir mais sustentabilidade ambiental nas decisões tomadas (Partidário e Jesus, 2003). A maior vantagem é a capacidade de avaliar os impactos acumulativos sobre o ambiente sendo estes os mais problemáticos e os mais difíceis de solucionar devido à sua transversalidade e dimensão (Partidário e Jesus, 2003). As ferramentas ou instrumentos de gestão ambiental apresentam-se como excelentes auxiliares

de apoio e fundamentais para os decisores e atores chave bem como para estratégias e políticas ambientais de forma a salvaguardar o ambiente e saúde pública ao mesmo tempo que garante estabilidade económica e social. Transmitem possibilidades, probabilidades dos projetos e atividades e consequências das decisões tomadas no âmbito desses projetos e atividades (Finnveden *et al.*, 2006). O nível de incerteza destas ferramentas está intrinsecamente relacionado com a incerteza do futuro em matéria ambiental, a limitação da capacidade humana em entender os fenómenos naturais, suas interligações e cooperações, e avaliar e quantificar em concreto os impactos que as ações humanas têm sobre o ambiente. Também as incertezas em matérias económicas e sociais, como por exemplo, as oscilações no mercado energético dão aos SGR uma área cinzenta, pouco definida e difícil de manobrar (Finnveden *et al.*, 2006).

2.3.2 MODELOS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA EUROPA

Os instrumentos são um recurso que por si só não dão resposta à extensa problemática dos resíduos. Estes são associados a outras técnicas que permitem uma maior eficiência e eficácia dos sistemas, técnicas essas designadas por modelos de gestão de resíduos que são modelos matemáticos que permitem uma visão holística da complexa teia que compõe o sistema de resíduos sólidos urbanos. Os modelos de gestão de resíduos na Europa podem ser classificados em: **i) linear-programming (LP)** – modelos lineares e abordam o problema em condições limitantes; **ii) mixed integer programming (MIP)**: modelos que recorrem à integração e que permitem avaliar se uma determinada etapa do sistema está ou não a funcionar de forma eficiente e eficaz; **iii) non-linear programming (NLP)**: modelos que integram relações não lineares do sistema, é mais complexo; **iv) dynamic programming (DP)**: modelos que dinamizam os SM-simulation models com FM-forecasting models com CBA (Ekvall *et al.*, 2007; Pires, Martinho e Chang, 2011; Stypka e Flaga 2005).

Seguidamente faz-se uma pequena descrição dos modelos mais comuns na Europa.

WAMED - Waste Management Efficient Decision Model: modelo baseado no instrumento CBA, é um modelo complexo, permite resultados a curto-prazo e é aplicado para avaliar a eficiência económica-ecológica dos resíduos urbanos. Os autores Moutavtchi *et al.* (2010) que desenvolveram este modelo, defendem a combinação deste com o modelo EUROPE, baseado no princípio de equidade, de forma a proporcionar incentivo económico e visam a redução de produção de resíduos e emissão de gases poluentes. Permite uma visão prática das várias etapas e vertentes do SGR, dando aos decisores uma base para poderem tomar decisões baseado no princípio monetário. Este modelo é comum na Suécia.

IWM - Integrated Waste Management Model: dividido em **IWM-1** **IWM-2** diferem na plataforma Excel, o **IWM-2** dá informações mais corretas e elaboradas, a nível de transparência, o modelo **IWM-1** é mais flexível e permite o ajuste dos dados segundo as condições locais em estudo e o modelo **IWM-2** não permite esta versatilidade (Stypka e Flaga, 2005). No geral, este modelo, tem como objetivo fornecer informação sobre os impactos ambientais e económicos da tomada de decisão e estratégias relacionadas com resíduos e visa o melhoramento das estratégias já em curso. É um modelo baseado no instrumento ACV, dando uma abordagem do ciclo de vida dos resíduos e seus impactes (Stypka e Flaga, 2005).

MIMES - Waste-Model for description and optimization of Integrated Material Flows and Energy Systems: é definido como um modelo de engenharia baseado num modelo de

computação estático (Eriksson *et al.*, 2003), que visa um planeamento estratégico dos sistemas de gestão de resíduos urbanos e composto por módulos que permitem a constante avaliação das várias variáveis e fatores antes da implementação do modelo. Lida com as incertezas ambientais e permite uma avaliação do sistema segundo critérios de custo-benefício, proteção ambiental e produção de energia (Sundberg *et al.*, 1995) e sendo um modelo NLP-non-linear programming pode ser usado a curto, médio ou longo prazo (Eriksson *et al.*, 2003). Devido à sua complexidade na plataforma é um modelo difícil de usar, existindo a necessidade de pessoal especializado (Stypka e Flaga, 2005).

ORWARE - Organic Waste Research: desenvolvido na década de 90 por Dalemo *et al.*, (1997) e Sonesson *et al.* (1997) define-se como um modelo de análise ambiental e económica para SGR, um modelo computadorizado que calcula a flutuação de substâncias orgânicas, seus impactes e custos de gestão (Sonesson *et al.*, 1997). Criado para lidar com a problemática dos resíduos orgânicos urbanos e baseado no instrumento LCA, permite uma visão abrangente dos efeitos que estes resíduos apresentam para o ambiente e forma de rentabilizar estes resíduos seja sob forma de fertilizantes seja sob forma de produção energética (Dalemo *et al.*, 1997). Este modelo é um *linear programming*-LP (Eriksson *et al.*, 2003). Composto por diversos e complexos submodelos como sistema de esgotos, incineração, aterros sanitários, compostagem, digestão anaeróbia, sistemas de transporte, tratamento de águas, etc., cujo principal objetivo é simular diversos cenários onde são contabilizados vários fatores e fontes de resíduos orgânicos e os resultados obtidos proporcionam valores sobre emissões atmosférica, para os cursos de água e solos e energia (Dalemo *et al.*, 1997; Sonesson *et al.*, 1997).

EASE WASTE - Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technologies: modelo que usa LCA como instrumento avaliando diversas etapas como incineração e aterros sanitários e os possíveis cenários decorrentes deste a geração de resíduos até à deposição final e os respetivos impactes ambientais (Clavreul, 2009). Desenvolvido pela primeira vez por Kirkely *et al.* (2006) atualmente e após evolução e mudanças é designado por EASE Tech por Clavreul *et al.* (2014). O objetivo deste modelo é determinar o valor total do consumo de recursos e determinar os impactos ambientais dos sistemas de gestão de resíduos através da LCA. Permite aos decisores avaliar em termos ambientais os SGR e estabelecer comparações entre as diversas estratégias e tecnologias de tratamento segundo as características demográficas de determinada região e a produção de resíduos (Clavreul, 2009; Kirkely *et al.*, 2006). Pode também ser utilizado em estratégias já implementadas como forma de otimizar a eficácia e eficiência ambiental destas estratégias (Kirkely *et al.*, 2006).

WISARD model - Waste Integrated Systems Assessments for Recovery and Disposal: muito recorrente no Reino Unido e usado pela sua Agência de Proteção Ambiental, a nível municipal e pelas indústrias na área de gestão de resíduos (Winkler e Bilitewski, 2007) e desenvolvido por Ecobilan Group (Emery *et al.*, 2006). É um Software de computador baseado no instrumento de ACV e como tal apresenta as mesmas dificuldades e limitações deste, por exemplo, dificuldade em gerir localmente os impactos ambientais (Petts, 2004) e não aborda a componente social não sendo considerado por este motivo um modelo sustentável (Morrissey e Browne, 2004). Este modelo está bem documentado por McDonald *et al.*, (2001).

UMBERTO model - modelo muito utilizado na Alemanha sendo um software de computador especializado (Winkler e Bilitewski, 2007) permite efetuar previsões quanto aos sistemas de produção e suas etapas, desde o consumo de matérias-primas, materiais, energia,

emissões e resíduos produzidos, permitindo uma análise e visualização do processo como um todo e sua necessidade energética e conjugando estas com a componente económica, gastos, e indicadores ambientais (IFEU, 2016; Morrissey e Browne, 2004). É um dos modelos mais flexíveis devido à sua conceção integrante de LCA considerando também as emissões de substâncias para atmosfera, solo e água (Winkler e Bilitewski, 2007).

ARES model- este modelo é comum na Alemanha, bastante estandardizado, contudo muito limitado em termos de opções, traduzindo em gráfico a eficácia e eficiência de aterros sanitários e incineradoras (Winkler e Bilitewski, 2007).

A maioria das agências ambientais recorrem a modelos custo-benefício para lidarem com a problemática dos resíduos (Moutavtchiet *et al.*, 2010). Os SGR apresentam impactos a nível local, emissão de poluentes para o solo, água e atmosfera e os impactos a nível global, emissão de gases que alteram a composição química da atmosfera, contribuindo para a depleção de ozono e para o aquecimento global. Os SGR enfrentam alguns obstáculos como a dificuldade de quantificar e qualificar os resíduos produzidos, diretamente dependente dos fatores de consumo, números de habitantes, sazonalidade, culturais, sociais e económicos que influenciam constantemente os resíduos e as suas características físico-químicas. Daí, um dos objetivos dos modelos de gestão de resíduos, ser a previsão de produção de resíduos e sua composição por um período indeterminado, embora extremamente difícil de atingir devido às variáveis pouco mesuráveis (Beigl *et al.*, 2008).

2.4 LEGISLAÇÃO EUROPEIA PARA RESÍDUOS

A Europa, pioneira em matéria ambiental, com o desenvolvimento de medidas e estratégias que visam a proteção ambiental, sustentabilidade dos recursos naturais, proteção dos ecossistemas e combate às alterações climáticas, assumiu desenvolvimento sustentável como “*motte*” das suas políticas internas e externas e como princípio basilar destas. O conceito de desenvolvimento sustentável (ds) foi oficialmente definido como “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades “ (WCES, Brundtland Report, 1987), surgiu no famoso Brundtland Report em 1987 também designado Our Common Future- Nosso Futuro Comum, e que serviu como base e orientador das políticas europeias, cimentando este como objetivo central das atividades económicas, sociais e ambientais em espaço europeu (EDS para EU, 2006).

Tendo em vista os compromissos assumidos na Cimeira da Terra decorrida no Rio de Janeiro em 1992 e a Cimeira de Joanesburgo em 2002, foi aprovado em Conselho Europeu Göttenburg em 2001 a Estratégia da EU para o DS, a EDS-Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável, servindo como fio condutor entre as duas cimeiras. Esta estratégia visa promover ações que permitam o incentivo à qualidade de vida das populações no presente e futuro de forma sustentada e responder aos desafios sócio-económicos de forma eficiente e eficaz. Num processo contínuo, visa a melhoria das sociedades para se tornarem mais sustentáveis e ambientalmente mais educadas e informadas através dos seus objectivos-chave (EDS para EU, 2006), salvaguardando os interesses das gerações atuais e futuras. Deste documento salienta-se a relevância dada à política energética referindo o reforço das metas europeias em relação ao Tratado de Quioto, redução em 8% dos gases com efeito estufa nomeadamente CO₂ relativamente aos valores registados em 1990 e a necessidade de assegurar estabilidade no mercado de abastecimento, competitividade e sustentabilidade assim como o aumento de

produção de energia proveniente de fontes renováveis em 21%. Desta forma a EDS para EU relaciona e encadeia os sistemas de gestão de resíduos com a redução de emissões de GEE-gases efeito estufa e recuperação energética (Pires, Martinho e Chang, 2010), demonstrando a relevância deste serviço não só a curto prazo como a longo prazo, onde as políticas e as estratégias adotadas devem prever e garantir a proteção ambiental e a saúde humana.

Contudo este documento enfrenta algumas dificuldades de implementação que podem colocar em causa o seu sucesso como a disparidade económica entre os diversos Estados-Membros, desigualdade no nível de educação ambiental e participação pública, que quando bem implementadas e enraizadas são impulsionadoras para a fluidez dos processos de tomada de decisão e a sua implementação, e divergência das tecnologias dos vários EM. Com vista os três pilares ou objectivos-chave: coesão social, proteção ambiental e sustentabilidade económica, cumprimento dos compromissos internacionais de combate às alterações climáticas, e a interligação destes com os SGR, existem na Europa assim como na maioria dos países desenvolvidos, diversos modelos de gestão de resíduos, que abordam diversas vertentes tais como avaliação de riscos, avaliação de impacto ambiental, análise de custo-benefício e análise do ciclo de vida (Morrissey e Browne, 2004), onde cada país desenvolve e implementa o seu sistema de gestão de resíduos sempre segundo as metas, critérios e legislação europeia.

A intervenção em matéria de resíduos é uma prioridade da EU e tem sido ao longo das últimas décadas tema em diversas frentes, políticas de proteção dos ecossistemas e biodiversidade, políticas de combate à poluição e políticas energéticas, sendo considerado o continente com maiores restrições e exigências ambientais. Segue-se um breve apontamento dos principais marcos em termos legislativos na Europa acompanhado de uma descrição destes.

Em 1971 surgem as primeiras iniciativas quanto aos resíduos, Programa Comunitário de Ação para o Ambiente (1973-1976) com vista a redução e reutilização dos resíduos.

Em 1975 surge a primeira Directiva para os GRU, **Directiva 75/442/CEE** de 15 de Julho, que estabeleceu as linhas orientadoras da política europeia para os resíduos de forma a combater as “condições de concorrências desiguais” garantindo a estabilidade do mercado, diminuindo as disparidades entre EM quanto aos resíduos e desta forma aproximar os EM em termos legislativos, e atribuir às autoridades nacionais as competências e responsabilidades em matéria de resíduos. Esta Directiva segue as linhas orientadoras do Programa Comunitário de Ação para o Ambiente, visto que prevê a reutilização, recuperação e incentivo a estas práticas de forma a salvaguardar e preservar os recursos naturais.

Em 1989, a Comissão Europeia desenvolveu em 1989 a **Estratégia Comunitária para a Gestão dos Resíduos** a 18 de Setembro e revista a 1 de Agosto de 1996, reconhece o esforço feito no sentido de tratar os resíduos de forma correta e ambientalmente sustentável através de legislação mais coesa e efetiva, assim como a componente técnica e económica associada ao setor, contudo o aumento dos resíduos continua progressivamente a nível europeu assim incentiva-se ao cumprimento da legislação comunitária e a intensificação da cooperação local, regional, nacional entre EM.

A Directiva dos Resíduos Perigosos a **Directiva n°1991/689/CE** de 12 de Dezembro, reconhece a necessidade de normas e regulamentos legais suplementares mais exigentes e limitantes de forma a responder à problemática dos resíduos perigosos e a ameaça destes para o ambiente e saúde humana, visto que devido à sua natureza não podem ser eliminados e tratados de forma convencional. Neste sentido este documento legal prevê a definição de resíduos

perigosos, para uniformizar este conceito entre EM e formas de fiscalização sobre os processos de tratamento e eliminação e os parâmetros, módulos em que estes tratamentos devem funcionar, garantindo a proteção ambiental e sustentabilidade. Esta Directiva foi revogada estando atualmente em vigor a Directiva n°2014/955/EU, esta atualização baseia-se na evolução tecnológica sentida nas últimas décadas.

A **Directiva n°1994/62/CE** de 31 de Dezembro do Parlamento Europeu e Conselho da UE também designada por Directiva das Embalagens. Visa a prevenção da produção de resíduos de embalagens, valorizando e priorizando a reutilização e reciclagem das embalagens com o objetivo de reduzir a quantidade destas no confinamento final e durante a aquisição dos produtos pelos consumidores. Esta legislação prevê ainda que os EM criem e desenvolvam sistemas que garantam o retorno das embalagens aos sistemas próprios e que, segundo a análise do ciclo de vida, estas circulem num sistema fechado e autossustentado. Esta Directiva foi alterada pela Directiva n°2015/720 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril no que diz respeito à redução do consumo de sacos de plástico leves.

A **Directiva n°1999/31/CE** conhecida por Directiva Aterro de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos orgânicos em aterros e redução de materiais recicláveis nestes. Esta norma prevê ainda a interdição de resíduos segundo a sua perigosidade, sendo estes encaminhados para outros canais no sistema de gestão de resíduos. Os resíduos orgânicos devido à produção de metano oriundo da sua decomposição e sendo este gás um contribuinte para o efeito estufa, vê assim a sua interdição em aterros e os recicláveis devido ao potencial de poderem ser usados como matérias-primas em sistemas secundários de produção. Esta Directiva veio uniformizar a disparidade existente entre os EM e estabelecer novas normas, parâmetros e módulos de exploração dos aterros e limitar a quantidade de licenças de funcionamento destas infraestruturas, no sentido de incentivar as comunidades à reutilização de materiais e reciclagem. Alterada pelo Regulamento (CE) n°1882/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Setembro, pelo Regulamento (CE) n°1137/2008 do Parlamento Europeu e do Conselho de 22 de Outubro e pela Directiva n°2011/97/UE do Conselho de 5 de Dezembro

A **Directiva n°2000/76/CE**, Regime Geral de Exploração ou Directiva Incineração. Prevê o limite de emissão e monitorização. Esta foi revogada e atualmente está em vigor a **Directiva n°2010/75/EU** Parlamento Europeu e do Conselho, em 24 de Novembro, visa um conjunto de regras de prevenção e controlo da poluição por parte das unidades industriais, a nível das emissões atmosféricas, emissões para a água e solo, com o objetivo de garantir a salubridade ambiental e saúde humana. Esta Directiva pretende estabelecer um quadro geral aplicável às atividades industriais, que contribuem massivamente para o aumento da poluição, onde a prioridade e principal objetivo é a prevenção o mais montante possível da poluição, considerando sempre a conjuntura social e económica local. Com uma abordagem integrada de valores limite de emissões e prevenção de forma a uniformizar e homogeneizar os parâmetros em espaço europeu, garantindo condições equitativas entre EM este diploma atribui aos governos de cada país as responsabilidades de assegurar o cumprimento desta Directiva e a devida transposição para a legislação nacional.

O **Regulamento n°1013/2006** de 14 de Junho relativo à transferência de resíduos em espaço europeu. Regula o controlo transfronteiriço dos resíduos para a valorização em espaço europeu estabelecendo os módulos e parâmetros de controlo das transferências segundo critérios de origem, destino, o percurso da transferência, caracterização dos resíduos e o tipo de tratamento a que estarão sujeitos no local de destino.

Diretiva n°2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro, relativa aos resíduos. Estabelece medidas de proteção do ambiente e saúde humana, com vista a prevenção ou redução dos impactes adversos devido à geração e gestão dos resíduos, e a diminuição dos impactes gerais da utilização dos recursos assegurando a eficiência dessa utilização. Alterada pelo Regulamento n°1357/2014/UE da Comissão de 18 de Dezembro e pela Diretiva n°2015/1127/UE da Comissão de 10 de Junho.

Diretiva n°2012/19/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de Julho, relativa aos resíduos de equipamento eletrónicos e elétricos (REEE). Estabelece as medidas de proteção do ambiente e da saúde humana, através da prevenção ou redução os impactes adversos devido à geração e gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos. Visa garantir a diminuição dos impactos gerais da utilização dos recursos e assegurar eficiência dessa utilização e garantir o desenvolvimento sustentável.

Estas são as principais Diretivas relevantes para o trabalho em causa. No entanto existe outras Diretivas referentes aos resíduos, das quais só se fará uma referência ao número e designação.

Directiva n°1975/439/CEE de 16 de Junho, revogada pela Directiva n°1987/101/CEE e atualmente pela Directiva n°2008/98/EU, regulamentação referente à eliminação dos óleos.

Directiva n°1991/157/CE de 18 de Março, alterada pela Directiva n° 1998/101/CE de 22 de Dezembro e revogada pela Directiva n° 2006/66/EU de 6 de Setembro, regula a gestão de pilhas e baterias estabelecendo regras específicas quanto à colocação no mercado, substâncias nestas contidas e processo de recolha, tratamento e deposição final.

Diretiva n°2000/53/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Setembro, relativa aos veículos em fim de vida, estabelece medidas de prevenção de formação de resíduos provenientes de veículos, a reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos veículos em fim de vida e respetivos componentes. Visa a redução da quantidade de resíduos a eliminar e a melhoria do desempenho ambiental. Alterada por vários diplomas: Diretiva 2013/28/UE da Comissão de 17 de Maio, Diretiva n°2106/774/UE que altera o anexo II e a Diretiva n°2017/2096/UE que altera o anexo II.

Diretiva 2006/66/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 6 de Setembro, relativa a pilhas e acumuladores e respetivos resíduos. Estabelece regras relativas à colocação no mercado de pilhas e acumuladores nomeadamente a proibição no mercado de pilhas e acumuladores que contenham determinadas substâncias perigosas, e estabelece as regras para recolha, tratamento, reciclagem e eliminação de pilhas e acumuladores. Esta diretiva visa completar a legislação europeia em matéria de resíduos e promover a recolha e reciclagem dos resíduos de pilhas e acumuladores em números substanciais. Revoga a Diretiva 91/157/CEE

3. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS EM PORTUGAL

3.1 ENQUADRAMENTO

Em Portugal atualmente, estima-se que são produzidos cerca de 4,5 Milhões de toneladas/ano de resíduos (Fig. 3.1) (ERSAR,2018) e que praticamente 100% da população beneficia de um sistema de coleta. As fases posteriores dos sistemas de gestão de resíduos urbanos (SRU) são considerados deficientes, pouco eficazes e pouco eficientes em matéria de tratamento, deposição, eliminação e confinamento (Lemos, 1997). O SGR foi, até ao final dos anos 90 do séc. XX, caracterizado fundamentalmente pela deposição em lixeiras a céu aberto, locais sem controlo ou gestão e onde apenas 26% dos resíduos produzidos em Portugal eram abrangidos por um ciclo de gestão, a recolha e reciclagem, limitada apenas aos municípios metropolitanos e que os materiais alvo de reciclagem eram maioritariamente papel e vidro (Niza *et al.*, 2014). Os resíduos urbanos, segundo o DL n° 178/2006 de 5 de Setembro, são os provenientes das habitações e resíduos a estes equiparados como os provenientes de comércio e serviços administrativos.

Na Fig. 3.1 são representados os valores dos resíduos produzidos em Portugal. Em 2013 houve um decréscimo de 4% na produção face ao ano de 2012, em 2014 houve um aumento de 2% face ao ano de 2013, em 2015 houve um aumento de 1% relativamente ao ano de 2014, 2016 continua a tendência de subida de 3% face a 2015 e em 2017 uma subida de 2% face a 2016, num total de 5 006 milhões de toneladas produzidos (APA, 2018).

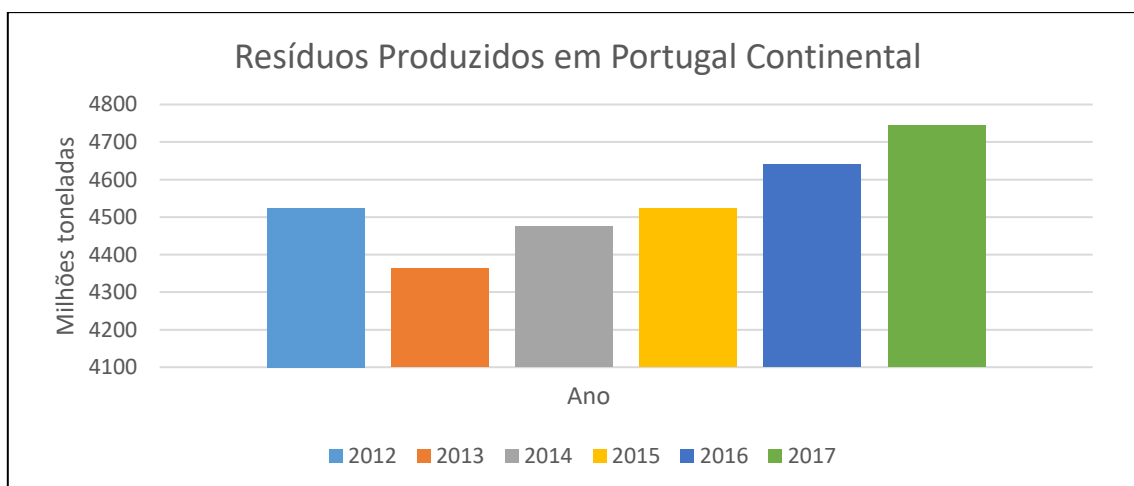


Fig. 3.1: Produção de resíduos em Portugal Continental (APA, 2018)

Em matéria de resíduos e sua gestão existe uma carência de informação recolhida e a disponibilidade desta é muito reduzida (Levy *et al.*, 2002), embora exista a obrigatoriedade de fornecimento de dados dos municípios à APA-Agência Portuguesa do Ambiente e no site da APA são disponibilizados os dados oficiais relativos aos resíduos em Portugal. Estas dificuldades de informação são de certa forma superiores às expectáveis tendo em conta as dimensões do país e o rácio populacional (EEA, MSW_Portugal, 2016). Contudo, parte destas dificuldades podem ser causadas pela discrepância existente entre zonas litorais e grandes áreas urbanísticas e o interior, parcialmente abandonado devido ao fenómeno desertificação humana (Tomás e Afonso, 2011). É notório o atraso de Portugal em relação aos seus parceiros europeus, apesar das transposições das normas europeias para as normas nacionais serem coerentes, assertivas e robustas, os mecanismos de aplicação e fiscalização falham ou não são fortes o suficiente para garantir o sucesso das normas no terreno, embora existam exceções

como o caso do vidro e metal (EEA, MSW_Portugal,2016). Um fator que contribui para o aumento das dificuldades de implementação das estratégias é o surgimento tardio das normas, que exige tempo para que se estabeleçam, para o desenrolar dos resultados e criar as alterações necessárias de ajustamento (Lemos, 1997). Outro fator é o nível insatisfatório de educação ambiental impresso em cada cidadão que por sua vez dificulta não só a homogeneização das normas como também afeta negativamente todas as etapas dos SGR que resulta nos resultados pouco positivos face às exigências europeias.

Até finais da década de 90, propriamente até 1996, existiam em Portugal cerca de 341 lixeiras a céu aberto em atividade (Lemos, 1997). Este cenário alterou-se com a implementação do PERSU- Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos em 1997, previa o encaminhamento dos resíduos para aterros sanitários criados para o efeito e a conversão das lixeiras em aterros e o encerramento das lixeiras que não apresentavam condições (Silva, 2014). Atualmente, existem 23 sistemas de gestão de resíduos urbanos em alta (Fig.3.2), 12 multimunicipais e 11 intermunicipais compostos por centrais de valorização orgânica (CVO), tratamento mecânico-biológico (TMB), centrais de valorização energética (CVE). Entende-se por sistemas em alta, sistemas que incluem transporte dos resíduos entre unidades de transferência e a confinamento final, envolvendo vários municípios com investimento predominante do Estado e gerido pelos municípios ou associações de municípios (Sequeiros, 2012).

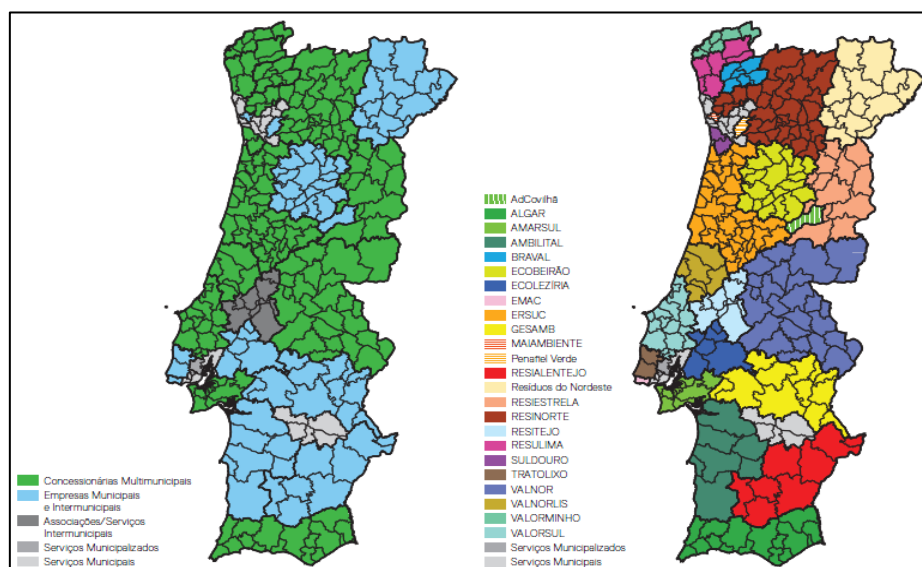


Fig.3.2: Distribuição dos SGR em alta (RASARP, 2017)

Sistemas de gestão em baixa (Fig.3.3), segundo o PERSU 2020, são 259 entidades gestoras responsáveis pela coleta de resíduos urbanos indiferenciados e destas apenas 27 operam na recolha seletiva de materiais com maior incidência nos centros urbanos (RAPERSU 2020, APA, 2018). Por sistemas em baixa entende-se, sistemas que incluem recolha e transporte para unidades de transferência ou diretamente para deposição final, em que os serviços prestados são, na sua maioria, pelos municípios ou associações de municípios, ou por delegações, com investimento público-privado segundo o DL n°379/93 de 5 de Novembro (Sequeiros, 2012).

Esta heterogeneidade nos SGR em nada contribui para o já complexo SGR, agravando mesmo a eficácia e eficiência deste. A forma encontrada para contornar a problemática foi a reorganização dos diversos SGR através de fusões entre as várias empresas e seus serviços

(PERSU 2020). Contudo isto levanta outros problemas, com por exemplo, a ordem de titularidade uma vez que, existem os municípios (públicos), empresas subcontratadas e ainda empresas privadas, associado ao modelo jurídico aplicado a cada um dos estatutos das empresas gestoras (PERSU, 2020).

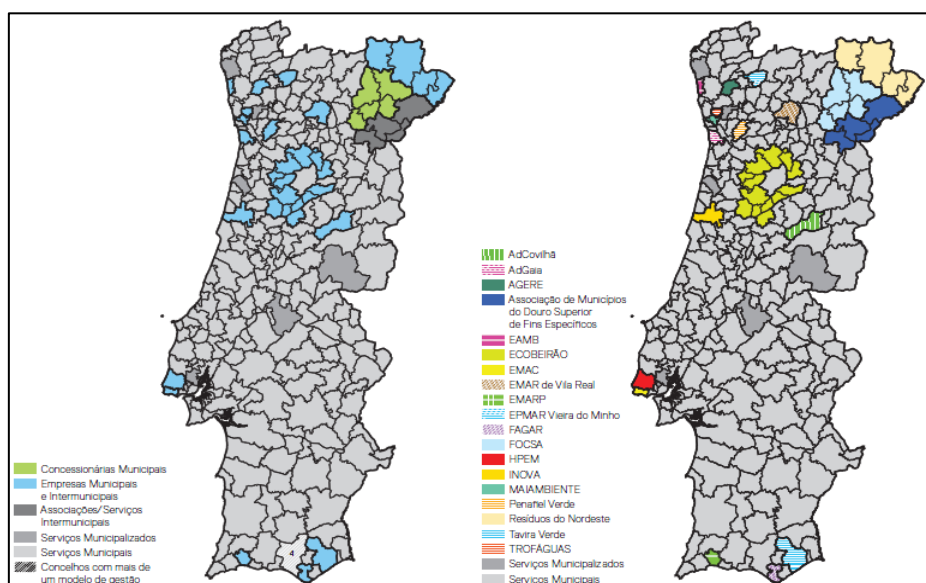


Fig. 3.3: Distribuição dos SGR em baixa (RASARP, 2017)

Em Portugal a forma de eliminação dos resíduos mais expressiva é, ainda o aterro sanitário embora seja notória a tendência decrescente do uso de aterros, devido ao aumento da quantidade de materiais desviados para sistemas de reciclagem, valorização e reutilização (EEA, MSW_Portugal, 2016). Em 2010 entraram em funcionamento 10 unidades de tratamento mecânico-biológico (EEA, MSW_Portugal, 2016) e em 2012 estavam em operação 16 unidades de valorização orgânica (PERSU, 2020), de forma a responder às exigências impostas pela Diretiva Aterro.

Em matéria de ambiente, a competência máxima, pertence ao Ministério do Ambiente responsável por definir as políticas ambientais e os enquadramentos legais nacionais sempre segundo as normas e imposições europeias. A elaboração de estratégias setoriais é da competência da APA-Agência Portuguesa do Ambiente (Sequeiros, 2012), assim como é a monitorização e fiscalização das normas impostas bem como recolha de dados que permitam uma perceção da aplicação das estratégias no terreno e os necessários ajuntamentos para o cumprimento das metas propostas. A APA opera em conjunto com outras entidades nacionais do setor como a ERSAR- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, que visa assegurar e estruturação e regulação do setor dos resíduos, avaliar o desempenho das diversas entidades responsáveis pela reciclagem e valorização de resíduos, estabelecer relações entre os desempenhos, divulgação pública destes através de relatórios anuais. Visa a qualidade ambiental, dos serviços prestados e sustentabilidade económica (Cruz *et al.*, 2012).

Na prática a recolha/coleta dos resíduos compete a diferentes organismos e entidades, segundo a classificação dos resíduos. O enfoque deste trabalho vai ser sobre os **Resíduos Urbanos** que estão à responsabilidade dos municípios quer na forma direta, serviços camarários, ou na forma de subcontratação de empresas que prestem tais serviços.

O processo de recolha (Fig.3.4) divide-se em duas fases: indiferenciados e recicláveis/seletiva e ambos circulam em circuitos independentes e diferentes (Levy *et al.*, 2002; Sequeiros, 2012). Os indiferenciados são recolhidos porta-a-porta pelos serviços em dias específicos da semana e segundo a área a cobrir e encaminhados para confinamento final, aterro ou incineração. Caso exista centrais de tratamento mecânico-biológico (TMB) efetua-se a separação da fração orgânica e dos recicláveis, posteriormente enviados para as entidades retomadoras.

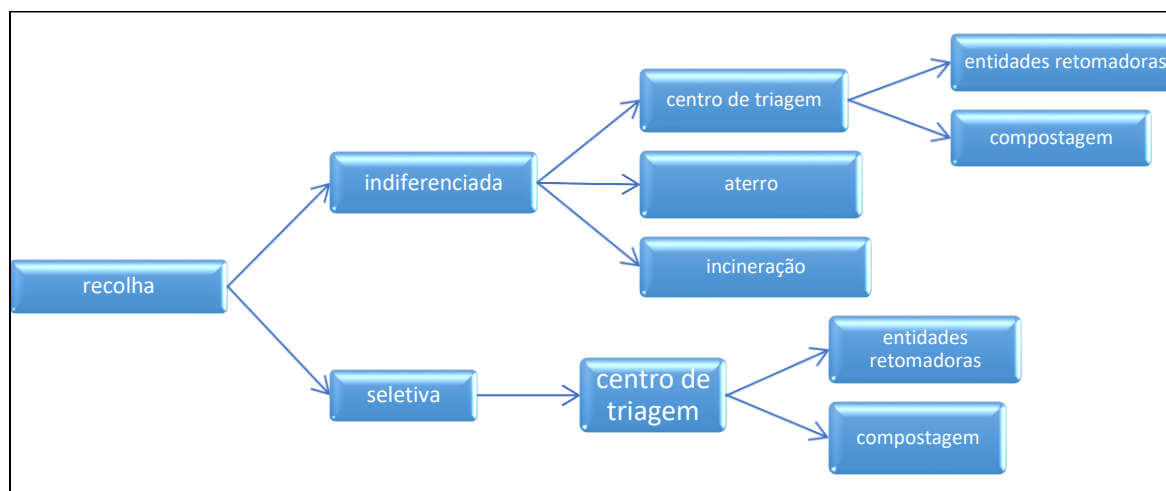


Fig.3.4: Processo de recolha de resíduos urbanos (Levy *et al.*, 2002)

Os restantes resíduos, sem aproveitamento são depois enviados para aterro ou incineração (Levy *et al.*, 2002). Os recicláveis são coletados, na maioria dos casos em ecopontos, e encaminhados para as entidades retomadoras para reciclagem (Levy *et al.*, 2002), ou em casos mais específicos porta-a-porta (Sequeiros, 2012). Esta última a variante mais onerosa embora seja a mais vantajosa pois permite a recolha de recicláveis numa triagem mais limpa e pura, enquanto aumenta os valores de reciclagem e assegura maior participação da população.

Os resíduos provenientes da recolha seletiva não reutilizáveis são geridos pela entidade SPV-Sociedade Ponto Verde, sociedade gestora da rede SIGRE-Sistema Integrado de Gestão de Resíduos e Embalagens, desde 1997 (APA, Despacho n° 14202-E/2016), sem fins lucrativos e com principais objetivos de promover a reciclagem de embalagens e sua recolha seletiva, promover a educação ambiental das populações, ajuda técnica e financeira aos municípios e garantir que embalagens colocadas no mercado são incorporadas neste sistema integrado (Levy, *et al.*, 2002). Atualmente em conjunto com a SPV cooperam mais duas entidades gestoras: **Novo Verde e Am3b** ambas licenciadas na rede SIGRE. A par destas existe ainda a **VALORMED** entidade gestora do SIGREM-sistema integrado de gestão de resíduos embalagens de medicamentos e **VALORFITO** entidade gestora da rede SIGERU-Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens em Agricultura (APA, 2018). Em Portugal, a reciclagem é assegurada, na maioria dos municípios pelos ecopontos (tutela da SPV), e é feita em três tipos de recicláveis: vidro (contentor verde), cartão e papel (contentor azul) e metal e plástico (contentor amarelo).

Na maioria dos ecopontos, encontra-se um contentor para recolha dos óleos alimentares e pilhas (pilhão) e os restantes resíduos (ex. móveis, monstros) podem ser depositados nos cerca de 197 ecocentros distribuídos em território continental (Tabela 3.1).

| Infraestruturas | Número de Unidades |
|--|--------------------|
| Aterros | 32 |
| Tratamento mecânico | 6 |
| Central de Valorização Orgânica (RIInd) | 16 |
| Central de Valorização Orgânica (Rsel) | 5 |
| Central de Valorização energética | 2 |
| Estação de Triagem | 30 |
| Estação de Transferência | 90 |
| Ecocentros | 197 |

Tabela 3.1: Tipo de infraestruturas e n.º de unidades existentes em Portugal Continental (RAPERSU 2020 em APA, 2018)

Em Portugal, os casos de maior sucesso em termos de percentagem de reciclagem são sem dúvida o vidro, metal e papel, provavelmente devendo-se à facilidade na recolha separada e ao alto valor económico. Na prestação de serviços de GRU não existe concorrência devido à existência de uma única entidade de gestão a operar em cada área geográfica, o que, poderá gerar a inflação das tarifas praticadas. Neste aspeto é conveniente uma diversificação do mercado e serviços para otimização e eficácia destes assim como os objetivos nacionais em termos de reciclagem, valorização e tratamento e ao mesmo tempo assegurar os interesses dos consumidores e dos municípios (Sequeiros, 2012).

3.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL

Portugal foi dos primeiros países a criar legislação que prevê como uma das funções fundamentais do Estado a proteção ambiental (Costa *et al.*, 2010), “*Proteger e valorizar o património cultural do povo português, defender a natureza e o ambiente, preservar os recursos naturais e assegurar o correto ordenamento do território*” (Constituição da República Portuguesa, Artigo 9, Alínea e)).

A legislação nacional em matéria ambiental e gestão de resíduos, é, na sua maioria, baseada em transposições legais das Diretivas Europeias, e às quais, os EM são obrigados a transpor devido ao Tratado da Comunidade Europeia, nomeadamente n.º1 artigo 130.ºS. As normas nacionais centram-se, quase que exclusivamente, em duas normas basilares: Lei de Bases da Política de Ambiente, Lei n.º 19/2014 de 14 de Abril, que revoga a anterior Lei de Bases do Ambiente, Lei n.º 11/87 de 7 de Abril, e Lei Quadro dos Resíduos, DL n.º 178/2006 de 5 de Setembro, alterado pelo DL n.º 73/2011 de 17 de Junho (Sequeiros, 2012).

Lei de Bases da Política de Ambiente – Lei n.º 19/2014, de 14 de Abril revoga a anterior Lei de Bases do Ambiente. Apesar de não existir uma Lei que unifique todas as questões ambientais, esta Lei pode ser considerada como uma compilação de normas jurídicas fundamentais, fazendo um enquadramento geral da proteção jurídica ambiental, mencionando as principais linhas orientadoras, princípios gerais e diretrizes em que a proteção ambiental ocorre.

Lei-Quadro Resíduos – DL n.º 73/2011 de 17 de Junho, altera o DL n.º 178/2006 de 5 de Setembro, sendo a terceira alteração efetuada a este diploma, e transpõe a diretiva n.º 2088/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativo ao regime dos resíduos (APA, 2018). Estas alterações visam: **i)** reforçar e incentivar a prevenção e produção de resíduos; **ii)** intensificar as práticas de reciclagem, reutilização e o mercado circulatório dos resíduos de forma a potencializar a valorização destes; **iii)** redefinir o conceito de resíduos, numa forma mais simples e exata, bem como outros conceitos como reciclagem, reutilização, valorização,

prevenção e eliminação; **iv)** estabelecer novas metas de reciclagem, reutilização e valorização até 2020 e respetivos programas e estratégias; **v)** aumento da reciclagem como forma de responder à preservação dos recursos naturais; **vi)** redefinição do conceito de subprodutos de forma a não serem caracterizados como resíduos; **vii)** estabelecer o alargamento do princípio de responsabilidade ao produtor segundo critérios LCA. Este diploma altera vários outros diplomas: **DL n° 366-A/97** de 20 de Dezembro, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens, **DL n° 111/2001** de 6 de Abril, que estabelece o regime de gestão dos pneus e pneus usados, **DL n° 153/2003** de 11 de Julho, que estabelece o regime dos óleos usados, **DL n° 196/2003** de 23 de Agosto, que estabelece o regime dos veículos em fim-de-vida, transposição da **Diretiva Europeia n°2000/53/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Setembro, **DL n° 3/2004** de 3 de Janeiro, que estabelece o regime jurídico do licenciamento e exploração de unidades de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos (CIRVER), **DL n°190/2004** de 17 de Agosto, estabelece as normas relativas à colocação no mercado de adubos e corretivos agrícolas, **DL n° 46/2008** de 12 de Março, que estabelece o regime de gestão de resíduos de construção e demolição, **DL n° 210/2009** de 3 de Setembro, que estabelece o regime de constituição, gestão e funcionamento do mercado organizado de resíduos. Existe outra legislação que, em conjunto com estas normas basilares articulam a gestão dos resíduos em território nacional.

Decreto-Lei n°152-D/2017, de 11 de Dezembro, legislação consolidada que reúne num único diploma o regime da gestão dos fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada ao produtor e transpõe para o direito português as **Diretivas n°2015/720/EU, 2016/774/UE e 2017/2096/UE**. Devido à dispersão das normas reguladoras no âmbito dos resíduos e devido à incerteza jurídica que gera essa dispersão, surgiu como solução compilar num único diploma todas as normas referentes à gestão de fluxos específicos de embalagens e resíduos de embalagens, óleos usados, pneus e pneus usados, resíduos de equipamentos eletrónicos e elétricos, resíduos de pilhas e acumuladores, veículos em fim de vida, bem como outros diplomas regulamentares. Desta consolidação é espectável maior transparência, eficácia e facilidade no conhecimento da legislação em vigor relativa aos resíduos por parte dos operadores económicos. Este diploma em conjunto com DL n°173/2006, de 5 de Setembro alterado pelo DL n°73/2011, de 17 de Junho que estabelece o regime geral de gestão dos resíduos, definem as políticas e estratégias relativamente aos resíduos e agem como unificação a nível jurídico. Este diploma transpõe para a ordem jurídica nacional as seguintes Diretivas Europeias e as suas respetivas alterações: **Diretiva n° 94/62/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Dezembro, **Diretiva n° 2000/53/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Setembro, **Diretiva n° 2006/66/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 6 de Setembro, **Diretiva n° 2008/98/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro e a **Diretiva n° 2012/19/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de Julho. Ainda, segundo este diploma, ficam revogadas as seguintes normas nacionais: **DL n° 366-A/97** de 20 de dezembro, que estabelece os princípios e normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens, com exceção do disposto n°7; **DL n° 407/98**, de 21 de Dezembro, que estabelece a regulamentação dos requisitos de composição das embalagens e concentração de metais pesados; **DL n° 111/2001**, de 6 de Abril, que estabelece os princípios e normas aplicáveis à gestão de pneus e pneus usados; **DL n° 153/2003**, de 23 de Agosto, que estabelece o regime jurídico da gestão de veículos e veículos em fim de vida; **DL n° 6/2009**, de 6 de Janeiro, que estabelece o regime das pilhas e acumuladores desde a colocação no mercado, recolha, tratamento, reciclagem e

eliminação; **DL n° 67/2004**, de 7 de Maio, que estabelece o regime jurídico da gestão de resíduos de equipamentos eletrónicos e elétricos; **Portaria n°1028/92**, de 15 de Janeiro, que estabelece os princípios e normas de funcionamento de sistemas aplicáveis às embalagens reutilizáveis e não reutilizáveis; **Portaria n° 286-B/98**, de 31 de Dezembro, que estabelece a regulação aplicável aos sacos de plástico leves e previsto na Lei n° 82-D/2014 de 31 de Dezembro; **Despacho n° 9276/2004**, de 10 de Maio, que define o modelo do certificado de destruição de veículos em fim de vida; **Despacho n°9593/2015**, de 24 de Agosto, que estabelece a metodologia, os requisitos e as regras para o processo de qualificação de operadores de GR no âmbito da Valorfito.

Lei n° 10/2014, de 6 de Março, revoga o DL n° 277/2009, de 2 de Outubro e a Portaria n° 269/2011, de 19 de Setembro, e estabelece as normas e os princípios de gestão da ERSAR-Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, entidade responsável pela regulação e gestão dos setores da água, águas residuais e dos resíduos urbanos. Visa regular o setor a nível estrutural e a nível de comportamentos das entidades gestoras de forma a uniformizar as entidades gestoras e suas formas de atuação, visa a regulação económica (custos de serviços e cobranças aos consumidores) e visa garantir a qualidade dos serviços prestados (Sequeiros, 2012).

DL n° 294/94, de 16 de Novembro, alterado pelo DL n° 195/2009, de 20 de Agosto, que institui o regime jurídico da concessão de exploração e gestão dos sistemas multinacionais de tratamento de resíduos sólidos urbanos e estabelece as normas das tarifas relativas à recolha de resíduos.

Portaria n°209/2004 – de 3 de Março, revogada pela Decisão 2014/955/CE da Comissão de 18 de Dezembro, prevê a LER, Lista Europeia de Resíduos, uma lista que homogeneiza a origem e composição dos resíduos em Espaço Europeu. Assim o Anexo I da Portaria n°209/2004 foi revogado bem como códigos do mercúrio metálico, das lamas vermelhas da produção de alumina, mercúrio parcialmente estabilizado (APA, 2018).

Decreto-Lei n°127/2013 de 30 de Agosto, estabelece o regime das emissões industriais aplicável à prevenção e ao controlo integrados de poluição, e as regras destinadas a evitar e/ou reduzir as emissões para o ar, água e solo, com o objetivo de proteção ambiental como um todo, nomeadamente o Capítulo IV que prevê a atividade de incineração e co-incineração e o respetivo licenciamento pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), reforçado com aplicação do Capítulo III do Decreto-Lei n°178/2006 de 5 de Setembro na redação aferida pelo Decreto-Lei n°73/2001 de 17 de Junho. Este DL transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Diretiva n°2010/75/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 24 de Novembro.

Decreto-Lei n°183/2009 de 10 de Agosto, estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, e os requisitos gerais a ter em conta na conceção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento destes, inclusive as características técnicas específicas para cada classe de aterro. Este DL visa evitar ou reduzir os efeitos negativos decorrentes da deposição de resíduos em aterro para o ambiente, em particular a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera e os riscos para a saúde humana. Este diploma transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n°1999/31/CE do Conselho de 26 de Abril referente à deposição em aterros, alçada pelo Regulamento (CE) n°1882/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Setembro e aplica a Decisão n° 2003/33/CE do Conselho de 19 de Dezembro de 2002.

A par dos diversos diplomas que regulam e estabelecem as normas e princípios em relação aos resíduos, existem estratégias políticas nacionais que colocam em prática a legislação desenvolvida e que visam os princípios estratégicos pelos quais a gestão dos resíduos se orienta de forma a enquadrar os objetivos nacionais com os objetivos europeus. Para o efeito foram desenvolvidos alguns planos que condicionam a gestão dos resíduos segundo a sua origem.

Plano Nacional de Gestão de Resíduos, PNGR, aprovado pelo DL n° 178/2006, de 5 de Setembro e alterado pelo DL n° 73/2011 de 17 de Junho, pelo DL n° 67/2014, de 7 de Maio e pelo DL n° 165/2014, de 5 de Novembro (APA, 2018) e atualmente em vigor o PNGR 2014-2020. Este instrumento é considerado um macroinstrumento de planeamento em matéria de resíduos que visa estratégias de prevenção e gestão integrada dos resíduos centrando esforços numa economia circular de forma a assegurar maior eficácia no uso dos recursos naturais e garantir a redução e eliminação dos riscos ambientais decorrentes dos resíduos (PNGR 2020). Hierarquicamente abaixo deste instrumento estão os planos que abrangem os resíduos segundo as suas origens, PERSU, PERH e PESGRI.

Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Hospitalares, PEGRH, aprovado pela Portaria n° 43/2011, de 20 de Janeiro. Atualmente PEGRH 2011-2016 é a segunda versão deste instrumento e visa assegurar o cumprimento das estratégias estabelecidas tanto a nível nacional como a nível europeu, e estimular o conhecimento e desenvolvimento técnico-científico (PEGRH 2011-2016).

Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais, PEGRI, aprovado pelo DL n°89/2002, de 9 de Abril e estabelece os princípios estratégicos de gestão de resíduos industriais e foi objeto de revisão em 2002. Os principais objetivos desta estratégia são a prevenção de produção dos resíduos, promover ações de reutilização e reciclagem, promover a eliminação de passivos ambientais. O âmbito do PEGRI foi elaborado o **Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI)** com o objetivo central da redução da perigosidade e quantidade destes resíduos (APA, 2018) e (PEGRI 2002).

Plano Estratégico para Resíduos Sólidos Urbanos, PERSU, instrumento de planeamento dos resíduos urbanos considerado como um instrumento de referência, e que prevê um conjunto de ações e normas orientadoras, assegurando que as metas e objetivos estipulados a nível comunitário são cumpridas. Este instrumento foi aprovado pela primeira vez em 1997, como **PERSU I** (1997-2007), permitiu a criação das bases para política dos resíduos e serviu como veículo auxiliar na tomada de decisão, erradicou as lixeiras a céu aberto, permitiu a criação de aterros sanitários e a criação de uma rede nacional de gestão de resíduos que abrangesse todo território nacional. Em 2007 na sequência do PERSU I foi aprovado o **PERSU II** (2007-2016) aprovado pela Portaria n° 187/2007, de 12 de Fevereiro. Dá continuidade às políticas nacionais sobre resíduos, colmata das lacunas do seu primeiro homólogo, e considerando as imposições europeias nomeadamente a proibição de resíduos biodegradáveis em aterros, a priorização da reciclagem e valorização face à deposição final. Em 2014, foi aprovado o PERSU 2020 (2014-2020) pela Portaria n°187-A/2014, de 17 de Setembro, definido como o instrumento de referência em matéria de resíduos urbanos em Portugal Continental, revogando o anterior Plano para Portugal Continental (APA,2018). Este novo Plano visa a proteção ambiental e a saúde humana através da redução da produção e perigosidade dos resíduos, garantir a gestão integrada através do uso de resíduos nos processos produtivos como matéria-prima ou produtos secundários, aumento das tecnologias e infraestruturas

adequadas para o setor, aumento das capacidades económicas e criação de emprego através da investigação de novas formas de processos produtivos, redução das disposições em aterro e aumento da reciclagem e reutilização e valorização (PERSU 2020).

Este conjunto de diplomas e planos estratégicos são a base das políticas ambientais em Portugal e que garantem que as metas europeias são atingidas.

3.3 INCINERAÇÃO EM PORTUGAL

Tratamento térmico de resíduos urbanos em Portugal iniciou-se há relativamente pouco tempo quando comparado com seus parceiros europeus. Este processo envolvido em muita controvérsia, teve início na década de 90 aquando da elaboração e implementação do PERSU que previa a construção de duas unidades de incineração de resíduos urbanos em território continental e duas nas regiões autónomas. Atualmente estão em serviço duas no Continente, no Porto a Lipor II, em Lisboa a Valorsul, na Madeira a Valorambiente e nos Açores ainda em fase de projeto. Existem outras instalações de incineração/co-incineração para outro tipo de resíduos industriais e hospitalares. Embora não seja o ponto central deste trabalho far-se-á um breve apontamento das instalações licenciadas para o efeito e o tipo de resíduos que tratam com o objetivo de enquadrar as práticas de tratamento de resíduos em Portugal. A valorização energética dos resíduos industriais perigosos e não perigosos podem ser tratados nas instalações de Cimpor - Indústria de Cimentos, S.A., Secil - Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A., CMP – Cimentos Maceira e Pateias S.A., Recauchutagem Nortenha, S.A. valorização de pneus e outros resíduos, Dow Portugal. A valorização de resíduos hospitalares realiza-se nas unidades da CUF – Químicos Industriais, S.A., Hovione Farmacêutica, S.A., Kemi-Pine Rosins Portugal, S.A., Somos Ambiente, ACE e Ambimed. Algumas destas instalações encontram-se de momento em fase de prorrogação da licença de operação (APA, 2018). Como atrás referido, no caso da incineração dos resíduos sólidos urbanos, em Portugal Continental operam duas unidades, Lipor II no Porto e Valorsul em Lisboa.

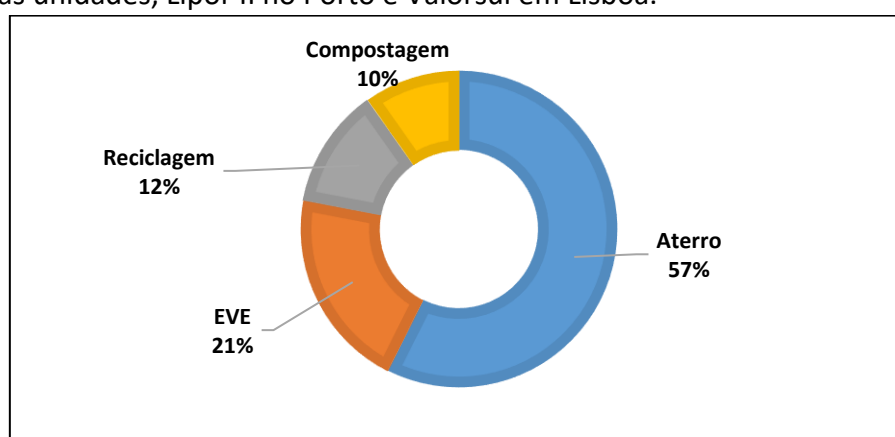


Fig.3.5: Destinos finais dos resíduos em Portugal (APA, 2018)

Em Portugal é evidente que o destino final dos resíduos mais comum é o aterro sanitário (Fig. 3.5), seguindo-se a valorização energética, reciclagem com 12% e compostagem com 10% (APA, 2018). Embora os dados indiquem uma evolução positiva no âmbito do cumprimento das metas estabelecidas no PERSU 2020, nomeadamente a fração encaminhada para

reciclagem, os valores estão longe das ambiciosas metas. As razões identificadas para este problema são, apesar dos investimentos feitos no âmbito da recolha seletiva estes não têm o reflexo espectacular nos comportamentos e na educação dos cidadãos. Existe a necessidade de avaliar possíveis medidas que permitam alterar esta realidade e implementá-las (APA, 2018).

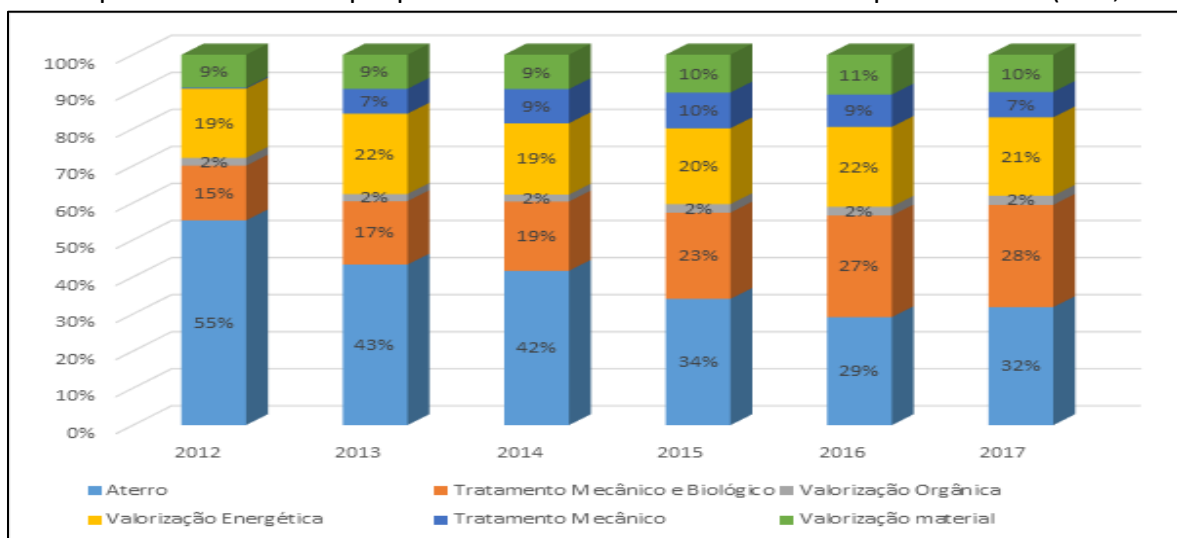


Fig.3.6: Tipos de tratamento de resíduos em Portugal (APA, 2018)

Na Fig. 3.6 apresenta-se os diferentes tipos de tratamento que os resíduos sofrem em Portugal. Claramente o aterro sanitário é o método mais comum com valores entre os 30 a 40% com exceção do ano de 2016, embora exista um decréscimo da deposição em aterro. Segue a incineração com cerca de 20%, valor pouco expressivo relativamente a outros países europeus, nomeadamente a Suíça.

4. SISTEMAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS NA SUÍÇA

4.1 ENQUADRAMENTO

Na Suíça, o processo mais comum para eliminação de resíduos urbanos é a incineração devido aos problemas ambientais decorrentes dos aterros sanitários, o facto de estes, em termos energéticos, serem menos eficientes comparativamente com as unidades de incineração e o facto da proibição de deposição direta em aterros estando obrigados à combustão destes (Artigo 11, TVA; Artigo 10, VVEA e Harris *et al.*, 2014)). A política nacional e regional quanto aos resíduos assenta em duas grandes premissas, fechar os ciclos de produção, para responder aos impactos ambientais e aumentar a eficiência da valorização energética das unidades de incineração de forma a responder às alterações climáticas (Boesch *et al.*, 2013).

Os sistemas de gestão de resíduos são caracterizados pela separação e valorização dos seguintes materiais (Fig.4.1): metais, vidro segundo as suas cores, papel, plástico PET, resíduos orgânicos, resíduos urbanos ou equiparados, aparelhos eletrónicos, têxteis e não definidos, e incineração dos resíduos (Boesch *et al.*, 2013). Estes sistemas aumentaram a sua eficiência em 16% entre 2001 e 2011 apresentando uma elevada taxa de volume de resíduos encaminhados para a reciclagem cerca de 50% (Herczeg, 2013). Em 2000 iniciou-se a campanha nacional de proibição para construção de novos aterros sanitários (Boesch *et al.*, 2013) ao mesmo tempo que se iniciaram estratégias e políticas para aumentar o número de unidades de incineração no país (Herczeg, 2013). A reciclagem é a metodologia mais expressiva do SGR na Suíça (Fig.4.2), assegura mais de 50% do tratamento de resíduos e os restantes são dirigidos para unidades de incineração (Boesch *et al.*, 2013).

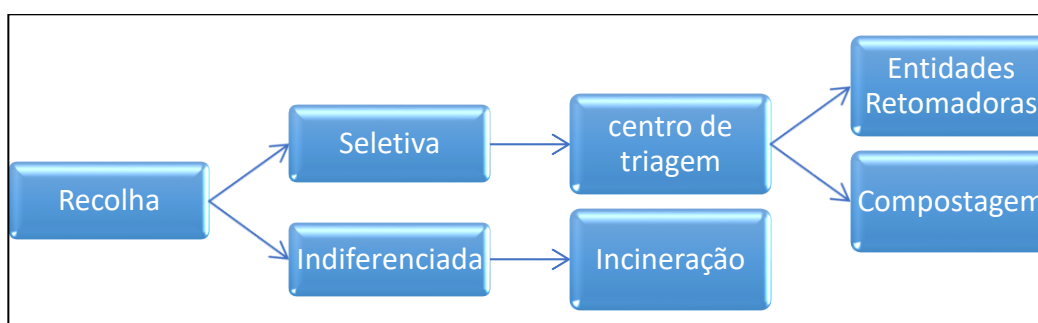


Fig.4.1: Processo de recolha de RU na Suíça (BAFU, 2018)

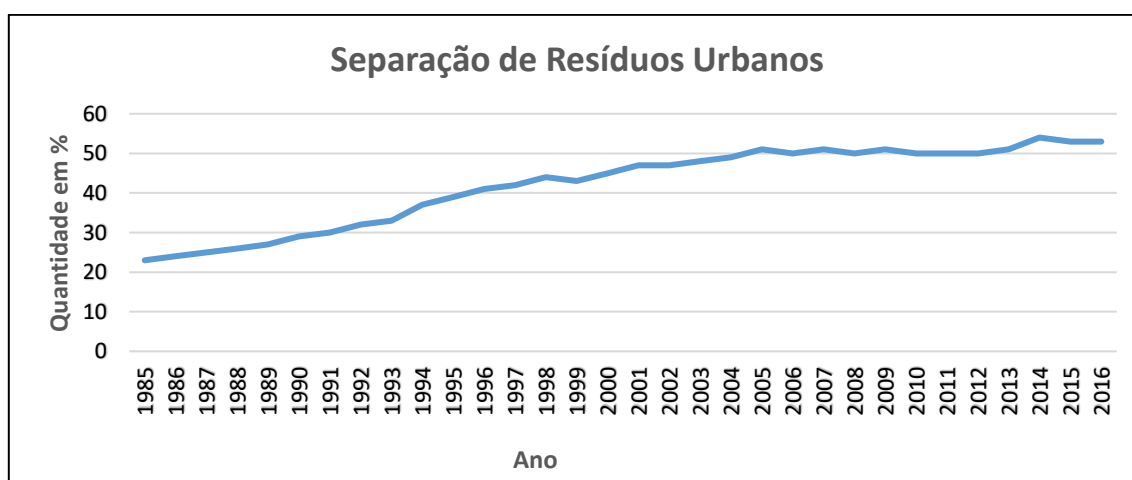


Fig.4.2: Quantidade de Resíduos Urbanos Reciclados em % por ano (BAFU, 2018)

Em 2014 foram produzidos cerca de 730Kg de resíduos por habitante (BAFU, 2017) uma média de 300Kg/habitante acima da média europeia (EEA, MSW_Switzerland, 2016), contudo a Suíça apresenta elevados valores de reciclagem e valorização e reduzidos valores no que respeita à deposição direta em aterros sanitários (EEA, MSW_Switzerland, 2016). Atualmente, mais de 50% dos resíduos produzidos são alvo de reciclagem (Fig.4.3), que se inicia nas habitações com a separação destes segundo os componentes: papel, cartão, e resíduos orgânicos, recolhidos por canais independentes, porta-a-porta em dias fixos: cartão uma vez por mês, papel duas vezes por mês e compostagem uma vez por semana.

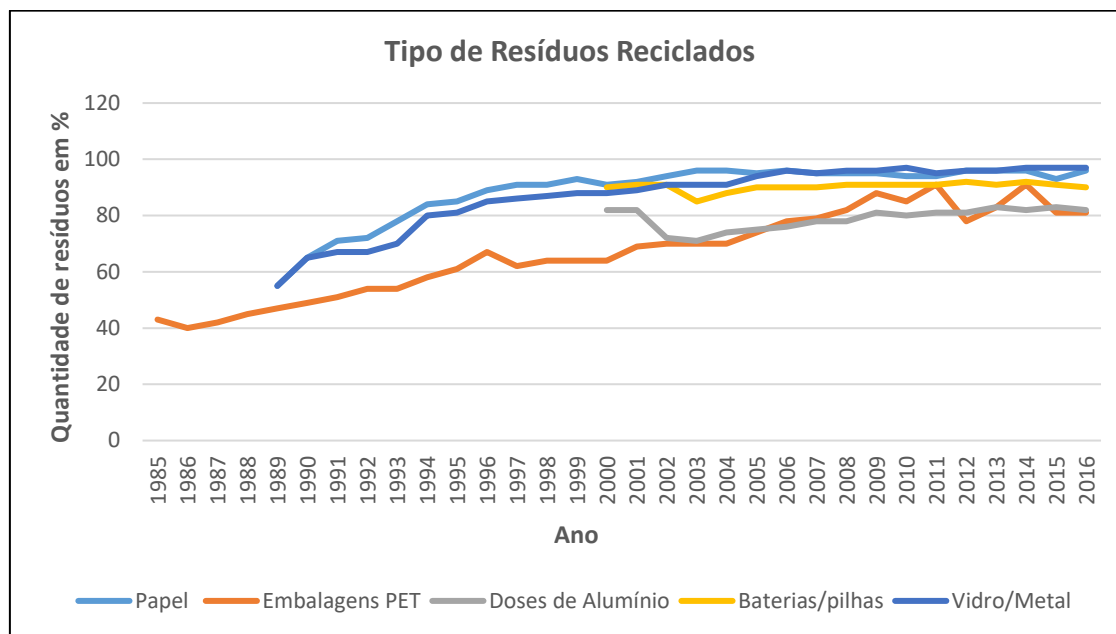


Fig.4.3: Tipo de resíduos reciclados (BAFU, 2018)

As datas encontram-se afixadas em calendários, distribuídos pelos municípios (Anexo 4). O saco do lixo, onde é colocado os resíduos urbanos indiferenciados, apresentam-se em rolo de 10 unidades, com diversas capacidades volúmicas, 17L, 35L (o comumente mais usado), 60L e 110L e com preços variáveis consoante o volume, sendo os de maior capacidade mais baratos. Estes sacos têm de ser obrigatoriamente adquiridos e podem ser comprados em qualquer super/hipermercado. O custo dos sacos serve para financiar os custos das operações e do sistema, e entrou em vigor na década de 90 como parte do princípio play-as-you-throw, tendo cerca de 90% da população aderido a este sistema e todos os cantões aderiram a esta modalidade com exceção do Cantão de Genebra (Killer e Knecht, 2014). Existe ainda a modalidade, aquisição de etiquetas, com custo, que são coladas nos sacos do lixo normais.

Para materiais como garrafas PET existem pontos de recolha em todos os super/hipermercado e estes são os únicos plásticos recolhidos em grande escala na Suíça. A entidade responsável pela recolha e toda a mecânica da rede é a PET Recycling Schweiz, sem fins lucrativos e tem como objetivo recolher e encaminhar estes resíduos para as entidades retomadoras. Os materiais de vidro e metal são recolhidos em contentores idênticos aos ecopontos (Anexo 4), e separados por cores: verde, branco e castanho. Esta separação por cores deve-se ao facto de obter um produto mais homogêneo possível, pois quando maior for a heterogeneidade do vidro a sua reciclagem só permite o vidro castanho. Existem ecocentros distribuídos numa rede bem ampla e são explorados por empresas privadas ou subcontratadas que prestam serviços públicos, onde a deposição de vidro, plástico, cartão, papel, e garrafas PET é gratuita.

Para os restantes resíduos, sobretudo de grande volume, a sua recolha é paga ao peso, por Kg e podem ser depositados por privados nas incineradoras. Outra modalidade é a deposição em ecocentros explorados por empresas privadas onde materiais como cartão, papel, PET, vidro são depositados gratuitamente e os restantes resíduos são pagos por Kg com valores tabelados e fixos em cada Cantão. Existe outra alternativa, depositar tais materiais através dos serviços municipalizados (Anexo 4), designado por Cargo-Tram, elétricos antigos que não operando no transporte de passageiros foram adotados para fins de recolha de resíduos, parados nas linhas terminais dos elétricos e em dias fixos. Quanto aos resíduos orgânicos, cerca de 75% da população beneficia de sistema de recolha porta-a-porta, em contentores próprios para o efeito e a recolha é também taxada. São produzidos cerca de 1.67 milhões/ton/ano, só em 2016 foram encaminhados para compostagem cerca de 92.4 Kg/hab sendo o restante encaminhado para incineração (BAFU, 2018).

Baterias e pilhas circulam num sistema paralelo e são reciclados desde os anos 90 (BAFU, 2018). Com a reciclagem destes materiais é possível recuperar metais como mercúrio, ferro, manganésio, zinco, cádmio, etc. INOBAT, Batterierecycling Schweiz é a entidade responsável pela recolha, transporte e tratamento destes materiais, com competência para gerir este circuito. O financiamento é gerado através do preço de compra destes produtos pelo consumidor, numa taxa designada por Vorgezogene Entsorgungsgebühr (VEG). Outro principal objetivo desta entidade é a divulgação de informação aos cidadãos e às empresas de práticas sustentáveis e como reciclar corretamente estes materiais (BAFU, 2018).

Na Suíça, os valores de reciclagem não estão estabelecidos legalmente ao contrário dos países europeus e claro Portugal. Existe apenas a priorização da valorização e reciclagem dos resíduos face à incineração e esta priorização está prevista em diplomas legais. A única exceção é a legislação correspondente às embalagens, vidro, metal e embalagens com vasilhame e tara perdida, são os únicos valores afixados, 75% para cada material (VVEA, 2018).

4.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL SUÍÇA: ASPETOS GERAIS

A Suíça não é um membro da UE, contudo existem protocolos e acordos com a UE e em matéria de resíduos também. Devido às circunstâncias políticas da Suíça, um país com democracia direta e governação descentralizada, existe legislação federal que estabelece os regimes gerais quanto aos resíduos, mas é uma competência das autoridades cantonais e dos municípios implementar planos e estratégias relativos aos resíduos e que cumpram com as metas.

A Suíça é uma confederação organizada em 26 Cantões e todos com elevado poder governativo, legislativo e executivo, os Governos Cantonais e cerca de 2 800 municípios/Juntas de Freguesias.

A nível nacional o Governo Federal, possui a responsabilidade no âmbito das políticas ambientais partilhadas com os Governos Cantonais, que estão obrigados a desenvolverem, implementarem e reverem os planos e estratégias referentes aos resíduos (EEA, MSW_Switzerland, 2016). A legislação cantonal varia de Cantão para Cantão, mas têm pontos comuns, estar em conformidade com a Constituição Federal e em concordância com a legislação federal.

BAFU, Bundesamt für Umwelt, é a autoridade máxima para as políticas ambientais, nomeadamente pelas políticas de gestão de resíduos. Equivalente em Portugal ao Ministério do Ambiente. Responsável pela criação, desenvolvimento e implementação de normas

reguladoras e diplomas que assegurem uma correta gerência dos resíduos de forma segura, garantindo e salvaguardando o ambiente e saúde pública. Os planos e estratégias para os resíduos são da responsabilidade dos Cantões, a nível federal não existe nenhum plano apenas diplomas e normas regulamentares. Cantões e municípios são obrigados a proceder ao envio dos planos e estratégias para aprovação do Governo Federal, e estes são elaborados segundo enquadramento local (BAFU, 2018).

Convenção de Basel (alemão) Basileia (português) um dos principais pilares e referências em legislação em matéria de gestão de resíduos (Costa *et al.*, 2010). Desta Convenção resultou um acordo que define a organização e os movimentos transfronteiriços dos resíduos perigosos, garantindo a circulação dos resíduos que apresentem autorização de importação e exportação, de forma a evitar o tráfico ilícito de resíduos e deposições ilegais. Este acordo iniciou-se em 1981, no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e foi reconhecido oficialmente como um documento de referência à escala mundial em 1989 em Basileia-Suíça (Basel Convention, 1989). Este acordo visa: **i)** necessidade de autorização prévia dos países importadores e exportadores de resíduos, **ii)** a adoção de medidas que reduzam a geração de resíduos desta natureza, **iii)** implementação de medidas de tratamento e deposição seguras, **iv)** assegurar o transporte de resíduos segundo as regras e padrões de segurança internacionalmente reconhecidos (identificação do conteúdo, embalagem e transporte) e **v)** assegurar que os movimentos de resíduos perigosos ocorre por necessidade, na condição de matéria-prima para as indústrias de reciclagem e valorização (Basel Convention, 1989). Todos os movimentos não autorizados e não comunicados ou cuja autorização seja, enganosa e falsa ou não possua toda a documentação necessária, são considerados ilegais. Em todas autorizações é necessário conhecimento da Comissão da Convenção e sua autorização para a movimentação (Basel Convention, 1989).

Lei Federal de Proteção Ambiental, em alemão Umweltgesetz (USG, sigla alemã), Bundesgesetz über den Umwelt de 7 de Outubro de 1983 e revista em Janeiro de 2018. Este diploma é outro pilar na legislação e prevê a segurança e proteção do ser humano, fauna e flora, suas comunidades biológicas e habitats, e a preservação dos meios naturais e a sua sustentabilidade bem como a proteção do solo, e prevê também ações e medidas que mitiguem os impactos ambientais (USG, 2018). No Artigo 2 está previsto o princípio poluidor-pagador, onde quem causar danos ou destruição deve suportar os custos. Estabelece as regulações ambientais sobre poluição atmosférica, ruído, vibrações e radiações e limites de emissões (Artigo 11). Este regulamento equaciona o Estudo Impacto Ambiental, obrigatório para todas as instalações e empreendimentos que possam causar impactos ambientais sob forma de emissões e que possam atingir vastas áreas e os parâmetros e critérios do estudo (USG, 2018). Está também previsto o acesso ao público dos resultados e qualquer informação pertinente referente às condições ambientais e medidas de proteção ambiental. Neste diploma está hierarquizado os tratamentos dos resíduos, primeiro a sua prevenção, seguido da valorização e reciclagem sempre que possível (Artigo 30), e a proibição da comercialização de produtos de uso único ou com pouco tempo de vida e produtos cujo processo de reciclagem e valorização seja desconhecido (Artigo 30, alíneas a) e c)). Refere que as empresas são responsáveis pelos produtos que colocam no mercado e devem assegurar que existe coleta após o uso dos produtos e que esta é efetuada num circuito próprio. Os planos e estratégias de gestão de resíduos, são da responsabilidade das autoridades cantonais, que devem avaliar a quantidade de unidades de transferência e de deposição final que são necessárias. Determinam também as rotas e frequências das recolhas e pontos de recolha

seletiva e ecopontos. Todas estas etapas com efeito após as avaliações do Governo Federal, nomeadamente BAFU. As autoridades cantonais podem subcontratar empresas para o efeito ou assegurar pelos próprios meios tais serviços, sendo esta última a mais comum. O financiamento do sistema é da responsabilidade dos Cantões e uma das medidas foi o pagamento dos sacos do lixo desde a década de 90, onde todos os Cantões aderiram com exceção do Cantão de Genebra. A nível cantonal existe independência para criarem e implementarem as suas próprias legislações, mas sempre de acordo com as normas estabelecidas a nível federal, ou seja, Cantões podem estipular limites, mas nunca acima dos impostos pela legislação federal, sempre iguais ou abaixo destes (Artigo 65).

Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA) em português a Lei de Redução e Eliminação de Resíduos. Entrada em vigor a 1 de Janeiro de 2016 revoga a antiga legislação TVA-Technische Verordnung über Abfällen. Este diploma prevê a definição de resíduo urbano *“resíduos provenientes das habitações e do comércio e serviços com máximo de 250 funcionários a tempo inteiro e cuja composição em termos de características, volume e propriedades sejam semelhantes aos resíduos domésticos”*. Prevê mais uma vez a obrigação de cada Cantão definir, elaborar, implementar os instrumentos necessários à gestão dos resíduos, zonas de transferência e recolha de recicláveis, retomas às indústrias recicladoras e unidades de deposição final. As autoridades estão obrigadas a avaliar o desempenho dos instrumentos implementados a cada 5 anos e remeter quaisquer alterações ao BAFU. Este diploma determina que todos os resíduos urbanos que não possam ser reciclados e valorizados, sejam submetidos a processo de valorização energética (Artigo 10). O artigo 11 refere que tanto o ministério como as autoridades cantonais e municipais têm a responsabilidade da educação ambiental, sensibilizar e informar os cidadãos sobre a importância da redução de resíduos, a valorização e reciclagem. Cabe às autoridades cantonais assegurarem e garantirem circuitos próprios e paralelos de recolha de materiais como vidro (por cor), papel, cartão, metal, plástico PET, resíduos orgânicos e têxteis, de forma a promover valorização mais eficaz e eficiente. Neste diploma estão descritos os módulos do processo de inceneração, como por exemplo 55% da energia elétrica produzida deve ser entregue na rede nacional (Artigo 32, Alínea a)), das unidades de inceneração em funcionamento, 24 já atingiram ou ultrapassaram esses valores restando 6 que ainda se encontram em fase de otimização.

Verordnung über den Verkehr mit Abfälle (VeVA) de 22 de Junho de 2005. Em português Lei sobre Transporte Transfronteiriços de Resíduos. Visa regulamentar o transporte de resíduos em território nacional e internacional, para o efeito a autorização de circulação, descrição e caracterização dos resíduos a transportar, descrição das entidades envolvidas no processo, razões da movimentação dos resíduos e notificação às autoridades de tais circulações, no caso em concreto BAFU. Este diploma tem especial importância pois dá seguimento no ordenamento nacional a Convenção de Basileia e devido ao facto de a Suíça ser um país importador de resíduos urbanos maioritariamente e resíduos industriais perigosos dos países vizinhos nomeadamente Alemanha, Áustria, Itália e França.

Verordnung über Getränkeverpackung (VGV) de 5 de Julho de 2000, resíduos de embalagens. Este diploma prevê a recolha, a valorização e o financiamento dos circuitos das embalagens e do vidro. De salientar que neste diploma as embalagens de leite e derivados não estão abrangidas, são regulamentadas separadamente e para estas impõe-se uma quota de reciclagem de 75% mínimo. Quanto às embalagens incluem-se os plásticos PET e derivados. As indústrias que coloquem no mercado embalagens de vasilhame são responsáveis por estas

incluindo a sua recolha e encaminhamento para retoma com um custo de CHF 0.30 por vasilhame (Artigo 5). Já nas embalagens de tara perdida, as indústrias são responsáveis pelos canais de recolha e valorização destes materiais com um custo de CHF 0.30 por embalagem colocada no mercado, sendo obrigadas a desenvolver e implementar sistemas de recolha em conjunto com as entidades vendedoras e assegurar a disponibilidade dos locais de recolha durante o período de abertura dos comércios (Artigo 6). No Art.8º, nº1 refere a quota de 75% de reciclagem para cada material PET, vidro e alumínio por ano, e segundo este, os produtores estão obrigados a informar anualmente (fim de Fevereiro), o BAFU do volume de embalagens de tara perdida e vasilhame produzidas ou importadas e a quantidade de embalagens recolhidas de tara perdida, vasilhame e PET, e embalagens de metal e vidro recolhidas e recicladas. Para isso existe no *site* BAFU formulários próprios para o efeito. A implementação deste diploma é da responsabilidade das autoridades cantonais e municipais.

Verordnung über die Angabe zur Sanierung von Altlasten (VASA), de 26 de Setembro de 2008. Em português Lei relativa à Tributação e Reabilitação de Locais Contaminados. Este diploma menciona a tributação ou taxa relativa aos resíduos depositados em aterro e o uso do pagamento desta taxa como financiamento para investigação de práticas de monitorização reabilitação de locais contaminados e investigação em aterros encerrados (Art.1º, Alíneas a) e b)). Esta tributação remonta a 2001 e é transversal a todos os Cantões que usem deposição direta em aterro. Em Janeiro de 2009 as tributações eram por tonelada de resíduo biodegradável CHF 15 (cerca de 13.50€), por tonelada de resíduo urbano CHF 17 (cerca de 15.20€), por tonelada de resíduo inerte CHF 3 (cerca de 2.70€) e por tonelada de resíduo importado CHF 22 (cerca de 19.80€). Em 2016 entraram em vigor novas tributações por tonelada de resíduo orgânico CHF 16 (cerca de 14.50€), por tonelada de resíduo indiferenciado CHF 16 (cerca de 14.50€), por tonelada de resíduo inerte CHF 5 (cerca de 4.50€). No âmbito da cobrança destas taxas, os valores gerados em 2014/2015 foram quase 40 milhões de CHF aproximadamente 36 milhões de euros (EEA, MSW_ Switzerland, 2016). E, embora estas tributações não estejam diretamente relacionadas com a redução da deposição de resíduos urbanos em aterros, banidos desde 2004, o facto é que servem de incentivo para a redução das deposições.

Energie Förderungs Versorgung ou Verordnung über die Förderung der Produktion von Elektrizität aus Erneuerbaren Energie (EnFV), de 1 de Novembro de 2017 e entrou em vigor em Janeiro de 2018. Regulamenta a produção de eletricidade proveniente de fontes renováveis. Neste contexto, as incineradoras com valorização energética estão incluídas neste grupo de ER. Também está estipulado o preço produzido por kWh, e diretamente depositado na rede por trimestre em CHF 0.16 (Art.26º).

Estes diplomas consideram-se a base da legislação para os resíduos na Suíça.

4.3 INCINERAÇÃO NA SUÍÇA

A Suíça é um dos países da Europa que apresenta longa tradição em relação à incineração de resíduos. Como anteriormente referido são produzidos cerca de 700 Kg/Hab/ano e a prática mais comum para a eliminação de resíduos é a incineração. Atualmente estão em funcionamento 30 incineradoras (em alemão KVA) com capacidade total de queima de 3.55 milhões de ton/ano (Fig.4) dos quais 80% são resíduos urbanos e equiparados, 20% são resíduos de construção e 10% resíduos provenientes de importação (BAFU, 2018), e todas com sistema de recuperação energética que geram cerca de 1824 GWh dos quais cerca de 3% é

usado para o consumo próprio (para alimentar o processo de queima, tratamento de gases e suporte elétrico) e o restante é distribuído na rede (Boesch *et al.*, 2013). O calor gerado é aproveitado para aquecimento das instalações e o restante distribuído na rede municipal de aquecimento ou em processos industriais variando segundo a localização da incineradora.

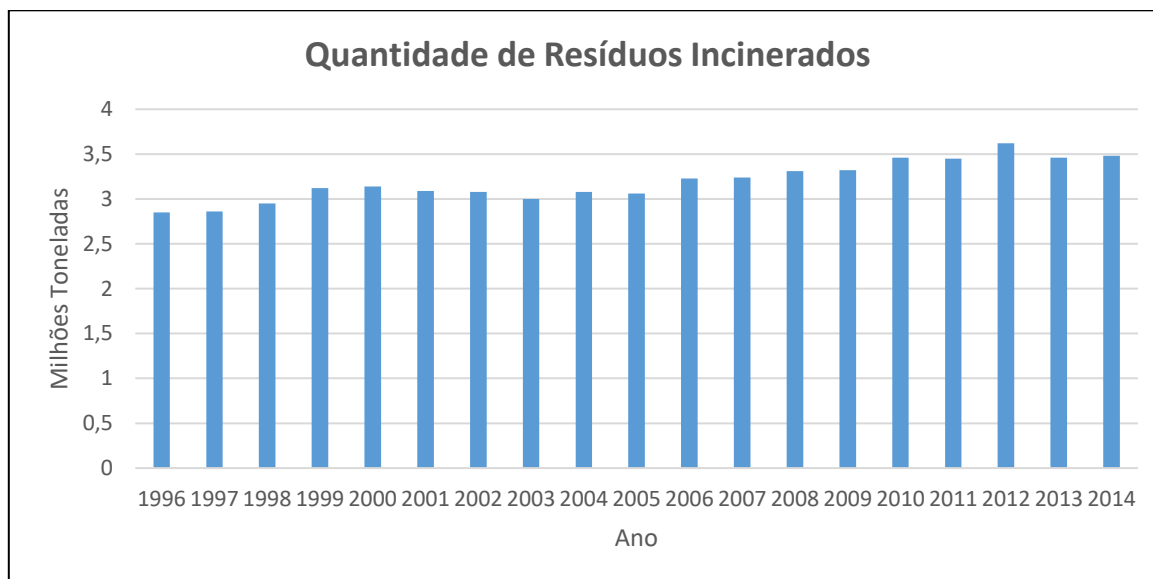


Fig.4.4: Quantidade de resíduos incinerados em milhões/Ton por ano (BAFU, 2018).

Devido à elevada taxa de reciclagem registada acima dos 50% desde 1996 (Fig.4.3), existe o risco de sob capacidade das incineradoras, ou seja, que a capacidade de queima total não seja atingida. Para prevenir que tal ocorra, as autoridades cantonais têm mais uma vez a obrigação de gerir a planificação da capacidade de queima total de forma a que estas não sejam ultrapassadas ou fiquem abaixo dos valores planificados (BAFU, 2018).



Fig. 4.5: Distribuição das incineradoras na Suíça (VBSA, 2014)

A maioria das incineradoras localizam-se na zona central e nordeste da Suíça e em zonas densamente urbanizadas (Fig.4.5) (Anexo 5) (BAFU, 2018). Devido às consequências ambientais decorrentes da queima dos resíduos, as incineradoras foram alvo de reestruturação e melhoramento de tecnologias de limpeza de gases de combustão e efluentes (Killer e Knecht, 2014). Todas produzem eletricidade e calor que reflete um positivo impacto no plano energético nacional, correspondendo a uma fatia de cerca de 2%, sendo a segunda maior fonte de energia renovável (a primeira energia hidroelétrica) (BAFU, 2018).

Tendo em conta a elevada capacidade de queima das incineradoras, é comum a importação de resíduos, nomeadamente da Alemanha (cerca de 285.000 toneladas), seguida da Áustria (com 96.000 toneladas) e Itália e França (com 40.000 e 13.000 toneladas respetivamente) (Killer e Knecht, 2014). E segundo estes autores em 2016 foram importadas cerca de 434.000 toneladas, cerca de 11% da capacidade de queima total das unidades na Suíça (Fig.4.4).

O painel energético suíço é composto por 54% de energia hidroelétrica, 40% de energia nuclear, 5% de energia termoelétrica e 5% de energia elétrica proveniente da queima dos resíduos (BFE, 2018). Como já foi referido, o aproveitamento das incineradoras não é só produção de eletricidade, mas também e em combinação com o aproveitamento de calor (Fig.5.5). Segundo o diploma EnFV 50% da capacidade energética gerada e injetada na rede e é considerada como energia renovável tendo em 2016 atingido os 2340 GWh e a produção de calor os 3980 GWh que representou cerca de 4% do painel energético nacional (Killer e Knecht, 2014). Devido ao referendo de 2013 contra a continuação da exploração de centrais nucleares, é expectável que a médio e longo prazo este défice seja coberto pelo aumento de centrais termoelétricas a gás natural e aumento da importação de petróleo (Boesch *et al.*, 2013). Outra variante que poderá contribuir será o aumento da capacidade de rendimento das incineradoras e/ou mesmo o número de unidades (BAFU, 2018).

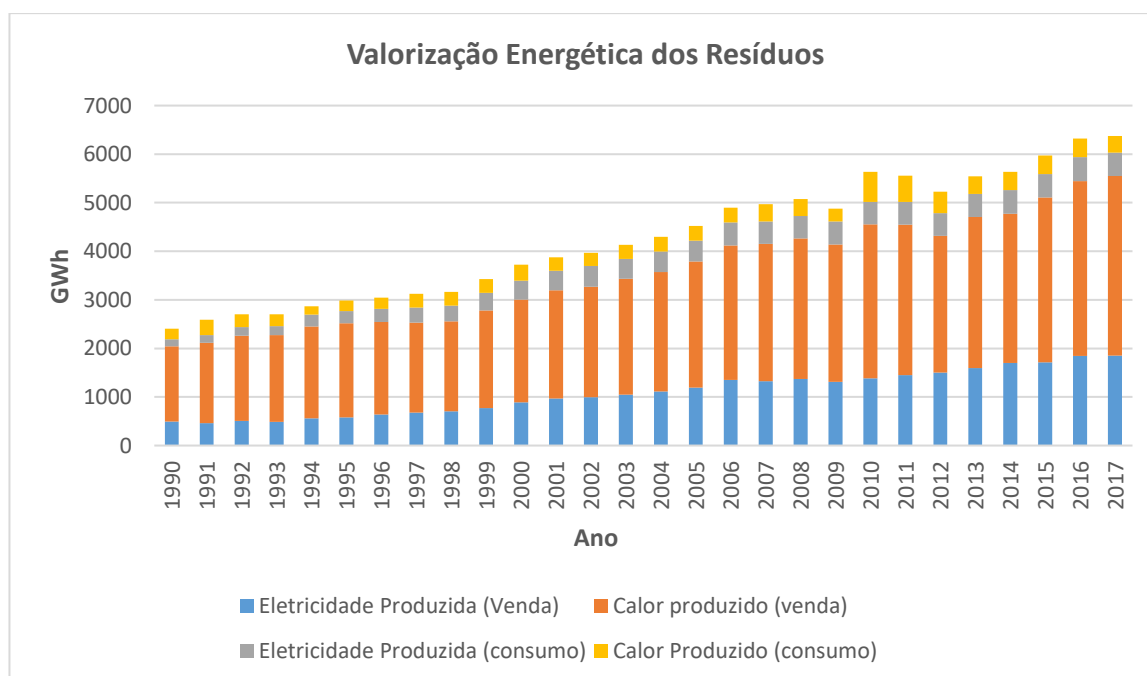


Fig.4.6: Valorização Energética dos Resíduos (BAFU, 2018)

Para além da valorização energética e recuperação de calor, existem outras formas de valorização em prática exploráveis nas incineradoras, como por exemplo recuperação de

materiais não ferrosos como alumínio, zinco, cobre, chumbo, níquel. Embora sejam projetos piloto ainda em fase experimental, os resultados têm sido muito animadores e é expectável a sua aplicação e extensão a todas as unidades nos próximos anos. Dos resíduos incinerados, cerca de 20% do peso destes são escórias e 2% do peso são cinzas volantes e em ambos os produtos se encontram materiais que podem ser recuperados (Boesch *et al.*, 2013). Nas escórias, com recurso a separação mecânica é possível recuperar materiais ferrosos, aplicável a todas as unidades. Contudo em unidades designadas “*State of the Art*” é possível recuperar materiais não ferrosos como alumínio, zinco, aço inoxidável, por exemplo recorrendo à nanotecnologia (Feller *et al.*, 2014; Guzman *et al.*, 2014). Já nas cinzas o processo de separação mecânica não é possível aplicar devido às dimensões das partículas < 1 mm, é apenas aplicável o processo hidro-químico (Boesch *et al.*, 2013), recorrendo a borrifadores ácidos (Feller *et al.*, 2014) usando água ácida proveniente do tratamento dos gases de combustão, de forma a mobilizar e extrair metais (Boesch *et al.*, 2013), sendo o filtrado posteriormente enviado para centros de reciclagem, e as cinzas restantes estabilizadas são incorporadas em cimento ou usadas em aterros (Feller *et al.*, 2014). Em fase piloto, estes processos têm-se revelado muito eficientes com recuperação quase total (Feller *et al.*, 2014). Outro processo aplicado com bons resultados é o processo FLUREC (em inglês Acid Fly Ash Leaching) para extração de zinco das cinzas, que pode decorrer na própria incineradora (nas mais modernas que têm estas infraestruturas) ou então recolhidas e encaminhadas para centros de reciclagem que apliquem esta metodologia ou metodologia FLUWA (em inglês Acid Fly Ash Leaching with Integrated Zinc Recovery) (Boesch *et al.*, 2013; Feller *et al.*, 2014).

Por ano são produzidas cerca de 800.000 toneladas de escórias e cerca de 80.000 toneladas de cinzas volantes (BAFU, 2018). Das escórias produzidas 97% são submetidas ao processo de separação mecânica para recuperação de materiais ferrosos e materiais não ferrosos, com recuperação atual de cerca de 30%, com previsão de aumentar para 70% com aplicação das metodologias acima mencionadas (Killer e Knecht, 2014). Nas cinzas volantes, 39% são submetidas ao processo de recuperação de zinco sendo esperado que esse valor aumente com a implementação dos processos FLUREC e FLUWA em todas as unidades. As razões para estes géneros de reciclagem e valorização está relacionado com o facto de a exploração desta matéria-prima e produção primária serem muito onerosas em relação à recuperação tecnológica destes materiais adicionando os ganhos ambientais decorrentes destas práticas e o aumento do rendimento financeiro das incineradoras. E embora o rácio reciclagem seja bastante significativo na Suíça, ainda existem muitos produtos que terminam nos sacos de indiferenciados e que seguem para incineração e que poderiam ser recuperados a montante na recolha seletiva. Em fase de estudo está ainda a captura de CO₂ (Boesch *et al.* 2013).

5. METODOLOGIA

A valorização dos resíduos tem sido preocupação constante do poder político. O excessivo consumo e não reaproveitamento de materiais provoca enormes impactos ambientais e sobrecarrega os sistemas de gestão de resíduos. Tendo em conta que reciclagem e revalorização são etapas que parcialmente respondem ao problema resíduo, existem ainda resíduos que pela sua natureza físico-química não podem seguir esses canais. Surge a questão universal, como tratá-los de forma sustentável? Uma forma de garantir a economia circular para estes resíduos é o tratamento térmico de resíduos pois permite o reaproveitamento energético neles contido e ainda recuperação de materiais como metais ferrosos e não ferrosos, aproveitamento das cinzas para construção civil e reaproveitamento de substâncias nocivas como metais pesados. O aumento desta prática na Europa é notório assim como o desenvolvimento tecnológico na área, existindo países que usam incineração como prática exclusiva de deposição direta.

Assim o estudo proposto tem como objetivo central a avaliação da eficiência energética das duas unidades a operar em Portugal Continental e eventuais melhoramentos nesse sentido.

A metodologia usada na elaboração deste trabalho foi a pesquisa documental. Aqui foi possível determinar qual o trabalho a ser desenvolvido e afinar o tema, reduzir a informação e dados através da seleção, determinar quais os conceitos e quais os enquadramentos que seriam importantes focar no trabalho e assim determinar a organização dos temas em capítulos. Assim em primeiro, focou-se numa revisão literária que permitiu apresentar a contextualização dos resíduos a nível europeu (capítulo 2), aspetos evolutivos dos SGR e identificar os marcos que contribuíram para essa trajetória, determinar as abordagens e políticas europeias nomeadamente os principais modelos e instrumentos de gestão de resíduos, determinar os principais diplomas legais que gerem as políticas ambientais. Portugal como um EM, obrigado a transpor para o direito nacional Diretivas Europeias, segue-se o enquadramento de Portugal (Capítulo 3), estabelecer a cronologia evolutiva dos SGR, estabelecer a organização dos SGR, recolha seletiva, taxas de reciclagem, métodos de deposição final, financiamento, entidades gestoras, referir as principais normas legais que operam em Portugal, caracterizar as unidades de incineração em Portugal como operam, quais as áreas servidas, taxas de reciclagem. Outro aspeto da pesquisa literária foi a caracterização da Suíça no âmbito dos resíduos (Capítulo 4), embora não sendo um EM, mantém protocolos e Acordos com a EU e, portanto, estabelecer uma perspetiva de organização dos SGR, identificar as principais normas legais no âmbito dos resíduos, caracterizar incineração e a unidade alvo de estudo, como opera, área servida.

Sendo o foco do trabalho a incineração, surge a necessidade de esclarecer o processo (Capítulo 6). Aqui segundo as pesquisas documentais, a maioria faz breves descrições do processo abordando globalmente as principais características e para o trabalho em causa havia a necessidade de uma abordagem mais técnica e exploratória do tema. Assim procedeu-se a análise documental e literária sobre tratamento térmico dos resíduos na maioria escrito em alemão, para determinar os conceitos e enquadramentos que seriam importantes abordar e permitissem uma visão mais técnica da incineração. Assim focou-se na contextualização da evolução da incineração como processo de tratamento, as causas do declínio e do ressurgimento desta prática e em que fases decorreram, descrição do processo de combustão, parâmetros e critérios de rentabilidade de processo, várias etapas que o constituem, fatores limitantes, identificar a dinâmica entre as várias fases. Com efeito o estágio realizado pela

mestranda num escritório de engenharia especializado em projetos de unidades de tratamento térmico de resíduos foi fundamental.

O acesso à literatura e esclarecimentos contribuíram para a realização deste trabalho assim como a componente prática. Segue-se neste âmbito o conceito de termodinâmica e a descrição e caracterização das unidades em estudo (Capítulo 7), mais uma vez com pesquisa literária e análise documental verificou-se a necessidade de aprofundar e interetar conceitos termodinâmicos técnicos que estão na base da valorização energética e de turbinas a vapor. Nos capítulos mais técnicos a experiência do co-orientador nesta matéria foi basilar pois permitiu esclarecimento de dúvidas, maior espírito crítico em relação às informações recolhidas e a organização destas para dar conhecimento a qualquer pessoa.

Foram elaborados questionários (Anexo 1), perguntas idênticas para Lipor e Valorsul, com ajuda e acompanhamento do co-orientador Dr. Flávio, de forma a obter as informações técnicas adequadas para o trabalho e afinadas e supervisionadas pela orientadora Dr. Ana Paula. As entrevistas foram realizadas em Dezembro em ambas as unidades em conjunto com visitas às instalações com acompanhamento da orientadora. Contactos posteriores mantiveram-se via e-mail, para esclarecimentos adicionais, para facultar informações na altura não conseguidas e agendamento de mais reuniões/entrevistas sempre que a mestranda se deslocava em férias. No conteúdo das entrevistas, as perguntas são claras e precisas, com o objetivo de recolha de informação técnica sobre as condições de operação das unidades, contextualização técnica, o desenvolver do processo e critérios que o governam. Algumas conclusões foram retiradas da leitura das respostas como por exemplo o baixo poder calorífico dos resíduos em Portugal face à Suíça, e assim permitir desenhar um quadro geral. As questões foram entregues em mãos aquando das primeiras visitas. Durante as visitas foi possível gravar, com a devida autorização, as respostas fornecidas pelos responsáveis.

O estágio, componente prática, foi realizado na empresa B & T Engineering AG, sita em Dübendorf, Suíça e pertence ao grupo alemão B+T Group (Fig. 5.1 e 5.2)

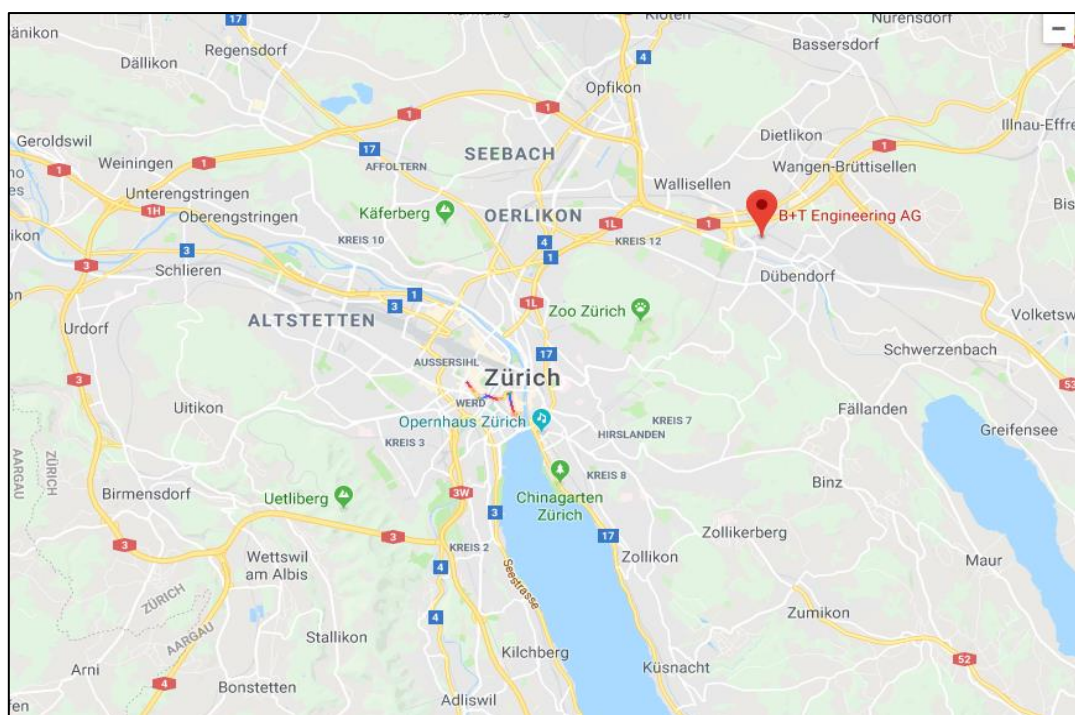


Fig. 5.1: Localização geográfica B&T Engineering AG (Google Maps, 2018)

identificação dos diagramas, importante para interpretação de esquemas, identificação de segmentos e percepção o funcionamento do sistema.

Numa segunda fase foi a pesquisa literária sobre tratamento térmico dos resíduos. Sentiu-se a necessidade de perceber tecnicamente o processo, conceitos, equipamentos e como funcionam, encadeamento de funcionamento, parâmetros que regulam o processo. Embora exista informações sobre incineração dos resíduos, estas são muito vagas e dispersas para conseguir uma visão mais técnica do processo e claro fundamental para os objetivos do trabalho. Daí a procura de fontes literárias técnicas e precisas, com conteúdos mais especializados relativos ao funcionamento dos equipamentos e dispositivos e como estes se relacionam entre si e no sistema como um todo. E para análise energética havia necessidade de perceber como funciona os geradores de vapor e os conceitos que revestem estes equipamentos. Tudo sempre com devidos esclarecimentos do co-orientador e igual acompanhamento.

Após esta componente mais teórica seguiu-se uma componente mais prática, o acompanhamento de obra, instalação de um economizador externo numa unidade suíça, exatamente com objetivo de melhorar o rendimento energético da instalação. Foram efetuadas duas visitas às instalações, na primeira, já com a obra em curso, grande parte do economizador estava montado e a visita foi de controlo e avaliação do decorrer da obra. Nesta visita além da vistoria da obra, acompanhada pelo responsável e coordenador de desenho e projeto, foi feita uma curta visita às instalações que na altura estavam com uma linha em paragem para manutenção. Numa segunda visita, decorreu um mês após a primeira, a montagem do economizador estava completa e com o intuito de verificar e controlar a obra e assegurar que todos os requisitos e condições estavam cumpridos. Houve um terceiro deslocamento às instalações, mas com o propósito de determinar e acertar últimos detalhes em relação ao funcionamento e posterior acompanhamento para verificar o desempenho do equipamento. O trabalho desenvolvido durante esta fase foi auxílio na verificação e controlo dos diagramas e planos, determinar as várias possibilidades de instalação de economizador externo e verificar em termos de cálculos essa viabilidade e qual delas a mais adequada. Todo este processo foi sempre desenvolvido com o co-orientador, auxiliando-o tanto na leitura de diagramas como nos cálculos que, posteriormente seriam essas competências necessárias para analisar a situação das incineradoras nacionais.

Estava agendada uma visita para aquando da entrada em funcionamento do equipamento, à qual a mestranda não pode comparecer por motivos de trabalho. Contudo numa das posteriores visitas foi possível o acompanhamento com o coordenador de projeto e desenho que explicou o pretendido com o investimento e as razões para os seguimentos da obra posterior à instalação do economizador. Durante este processo foi explorado a parte legislativa da Suíça, como decorre o processo de licenciamento, financiamento, quais as instâncias e procedimentos para aprovação do projeto. Também consequentemente, contratação de empresas de construção civil, fornecedores e empresas de montagem, ou seja, a parte logística e como se sucede durante fase de projeto e obras.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA LIPOR II

A Lipor, constituída em 1982, Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, engloba os municípios de Matosinhos, Espinho, Gondomar, Maia, Porto, Vila do Conde,

Valongo, Póvoa de Varzim, numa área de cerca de 646 Km² abrangendo aproximadamente 1 milhão de habitantes (Fig.5.4) (APA, 2018).

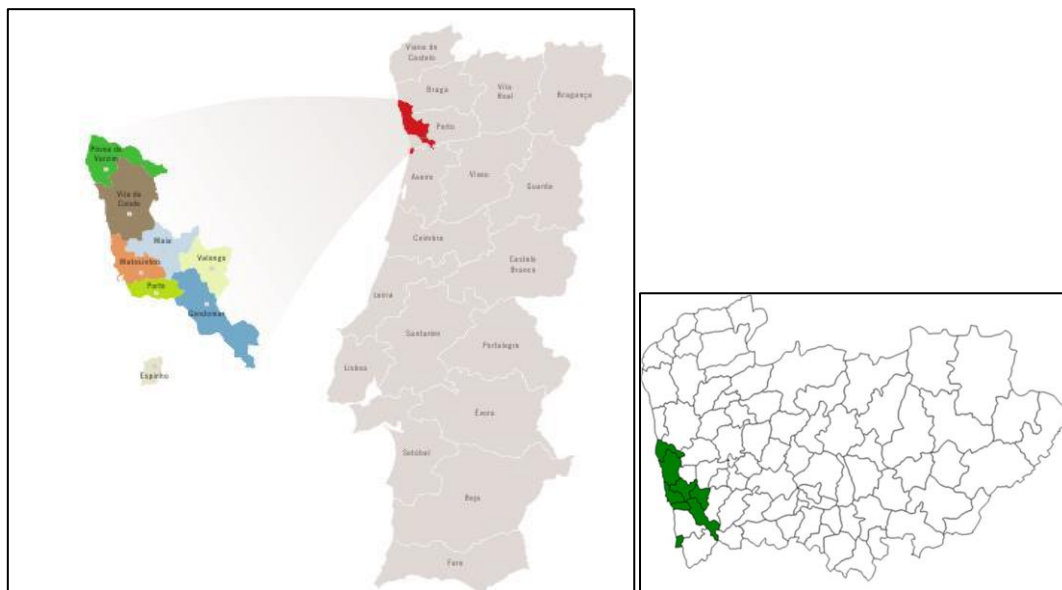


Fig.5.4: Localização Geográfica da Lipor (APA, 2018; Casian, 2013)

Em termos de infraestruturas a Lipor é composta por: um aterro em Moreira da Maia, uma central de valorização Orgânica ou unidade de compostagem (RSeI) em Baguim do Monte-Gondomar, uma central de valorização energética na Moreira da Maia (Lipor II), uma estação de triagem em Baguim do Monte-Gondomar e 19 Ecocentros divididos entre Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Valongo e Vila do Conde e cerca de 3 500 Ecopontos, aproximadamente 280 hab/ecoponto (APA, 2018). Em 2017, os valores de reciclagem atingiram os 33% de resíduos reutilizados, os resíduos depositados em aterro atingiram os 2% e retomas de embalagens foi de 44%, e as metas do PERSU 2020 são de 35% para reutilização e reciclagem, 10% para deposição em aterro e 50% para embalagens recolhidas seletivamente. Destes valores conclui-se que a Lipor II consegue dar resposta às metas e exigências do PERSU 2020. A quantidade de resíduos depositados em aterro foi drasticamente reduzida para 2% (Fig. 5.5). A quantidade de resíduos produzidos em 2017 foi ligeiramente acima das 500 000 Ton sendo tendência desde 2013, o aumento gradual de produção de resíduos (APA, 2018). Na Fig.5.6 apresentam-se os valores das várias fontes de recolha dos resíduos sendo a mais expressiva a recolha em ecopontos com 29%, sendo discriminado na Fig.5.7 os valores para cartão/papel, plásticos e vidro, segue-se os verdes com 21% e porta-a-porta com 13% (APA, 2018).

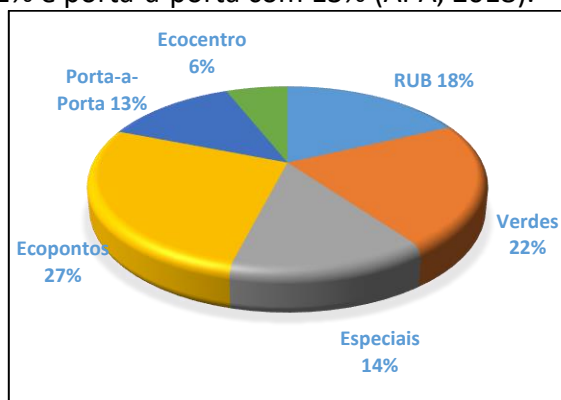


Fig. 5.5: Recolha Seletiva 2017 (APA, 2018)

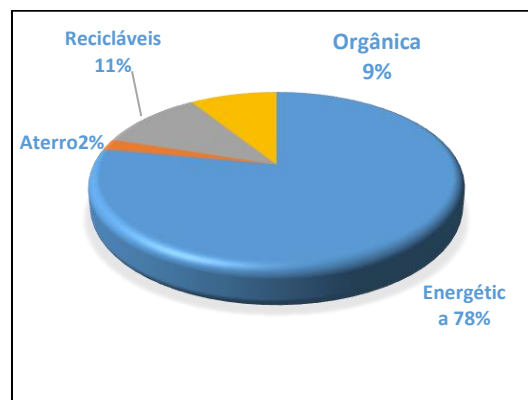


Fig. 5.6: Valorização dos resíduos em 2017 (APA, 2018)



Fig. 5.7: Resíduos recicláveis recolhidos Lipor em 2017 (APA, 2018)

A central de valorização energética ou incineradora (Fig.5.8) situa-se na Maia e o principal objetivo desta unidade é a valorização energética dos resíduos urbanos. Possui duas linhas em funcionamento desde 2000 com área para construção de uma terceira linha incluindo saída na chaminé, tratamento de gases de combustão, valorização de escórias, e funciona em regime de 24 horas durante todo ano, excetuando os períodos de paragem para manutenções e outras intervenções. A capacidade dos resíduos é de 400 000t/ano o que traduz cerca de 1 100t/dia, convertendo com a queima estes em 170 000MWh de energia elétrica por ano sendo 90% desta produção vendida à rede nacional e os restantes 10% são para consumo próprio (Lipor, 2018).



Fig.5.8: Central de Valorização Energética (Lipor,2018)

Na construção da unidade estiveram envolvidas as seguintes empresas CNIM, responsável pelo projeto e gestão da construção, Martin GmbH, forno e caldeira, Siemens componente elétrica e ABB tratamento de gases e monitorização. A unidade efetua paragens de processo necessárias para a manutenção dos equipamentos e avaliar o desgaste destes, duas vezes no ano, Março/Abril e Outubro/Novembro com duração média de 15 dias por linha e 3 dias para as áreas comuns às duas linhas. Os tipos de resíduos queimados são resíduos urbanos e equiparados.

O poder calorífico dos resíduos é 7 700Kj/kg, a grelha de combustão é inclinada 26° de forma a garantir a deslocação dos resíduos para a zona de queima e onde êmbolos hidráulicos auxiliam neste processo ao empurrarem os resíduos que caem da tremonha na grelha. Quanto ao sistema de tratamento de gases, na câmara de combustão os gases são retidos durante 2 segundos a temperatura de 1000°C para remoção de dioxinas e furanos. Lipor tem SNCR, Selectiv Non-Catalitic Reduction, ou seja, a neutralização dos NO_x é através de injeção de ureia na câmara de combustão, reduzindo a N₂ e vapor de água a temperaturas de 900 a 920°C. Após a saída dos gases no economizador estes são misturados num reator adicionando carvão ativado e hidróxido de cálcio para eliminação de dioxinas, furanos, compostos halogenados e

de enxofre. Tem sistema de filtro de mangas para remoção de partículas.

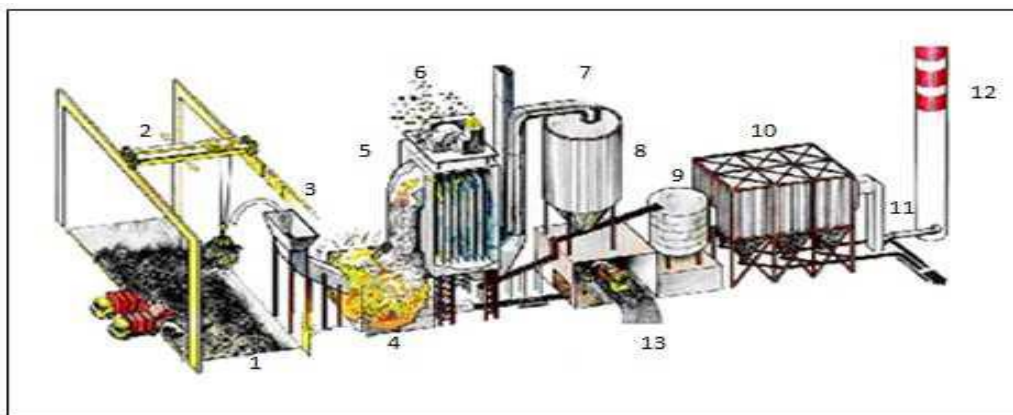


Fig. 5.9: Esquema geral (Lipor, 2018). 1: Fossa; 2: Grua; 3: Tremonha; 4: Câmara de combustão; 5: Caldeira; 6: Alternador e Turbina; 7: Sistema de adição de carvão ativado; 8: Reator; 9: Silo; 10: Filtro de mangas; 11: ventilador de extração de gases; 12: chaminé e 13: fossa de rejeitados (escórias)

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA VALORSUL

A Valorsul, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste S.A. (Fig.5.10) foi constituída em 1994 entrando em funções em 2001 (APA, 2018). Sendo uma S.A. é composta por 7 acionistas: Empresa Geral do Fomento S.A. com 52.93%, adquirida pelo Grupo Mota-Engil em 2016, Câmara Municipal de Lisboa com 20%, Câmara Municipal de Loures com 11,51%, Associação de Fins Específicos Amo Mais com 5,25%, Câmara Municipal de Amadora com 5,16%, Câmara Municipal de Vila Franca de Xira com 4,61%, Câmara Municipal de Odivelas com 0,54% (Valorsul, 2018). Situa-se na área metropolitana da Grande Lisboa, em S. João da Talha e engloba 19 municípios (Fig.5.10): Alcobaça, Alenquer, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras, Vila Franca de Xira, servindo uma população de cerca de 1 600 000 Habitantes numa área aproximada de 3 400 Km² (APA, 2018). Composta por: dois aterros, uma central de valorização orgânica, uma central de valorização energética, duas estações de triagem, dez ecocentros, seis estações de transferência e 2544 ecopontos (APA, 2018).

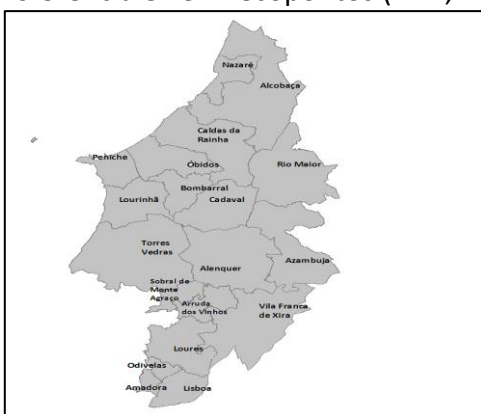


Fig. 5.10: Localização Geográfica da Valorsul (Lopes, 2014)



Fig. 5.11: Recicláveis recolhidos em 2017 (APA, 2018)

O sistema de recolha divide-se em recolha seletiva, recolha orgânica e recolha indiferenciada. Por recolha seletiva (Fig.5.15) entende-se as recolhas decorridas nos ecopontos e ecocentros compostas maioritariamente por catão/papel, plástico/metá e vidro. Por recolha orgânica entende-se os resíduos alimentares, resto e desperdícios e por recolha indiferenciada, os resíduos sem qualquer tipo de separação ou seleção, comumente resíduos que terminam

no caixote do lixo (Fig.5.14). De salientar que a recolha seletiva está limitada a alguns concelhos, Arruda dos Vinhos, Sobral de Monte Agraço, Alenquer, Azambuja, Torres Vedras, Lourinhã, Cadaval, Bombarral, Rio Maior, Óbidos, Peniche, Caldas da Rainha, Alcobaça e Nazaré (Lopes, 2014). Em 2017 (Fig.5.12), foram produzidas cerca de 765 000 ton/dia na área de intervenção da Valorsul que equivale a cerca de 1,45 kg/hab.dia (APA, 2018), que traduz cerca de 921 mil toneladas/ano, cerca de 459 kg/hab. Ano (Valorsul, 2018). No contexto global a Valorsul gere próximo de um sexto dos resíduos produzidos em Portugal Continental (Simões, 2009).

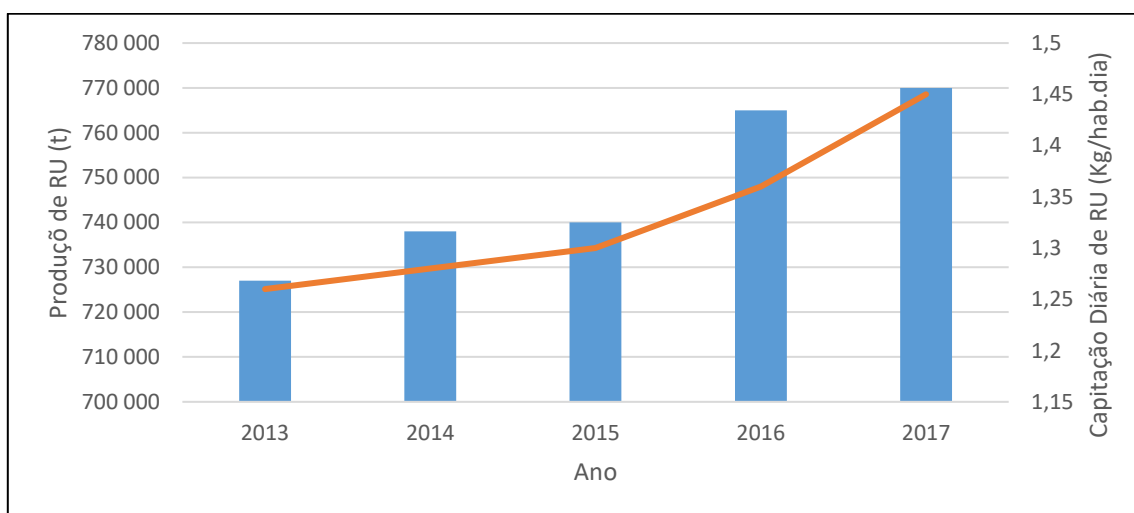


Fig. 5.12: Evolução da Capitação de RU em 2017 (APA, 2018)

Na Fig.5.13 está representado o destino dos resíduos geridos pela Valorsul, cerca de 61% das recolhas de RU indiferenciados são valorizados energeticamente, 13% são reencaminhados para reciclagem, 22% são depositados em aterro e 4% são resíduos orgânicos, valorizados anaerobicamente.

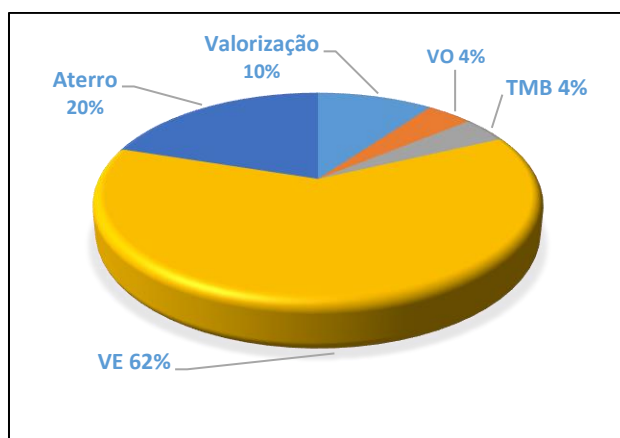


Fig. 5.13: Encaminhamento dos resíduos em 2017 (APA, 2018)

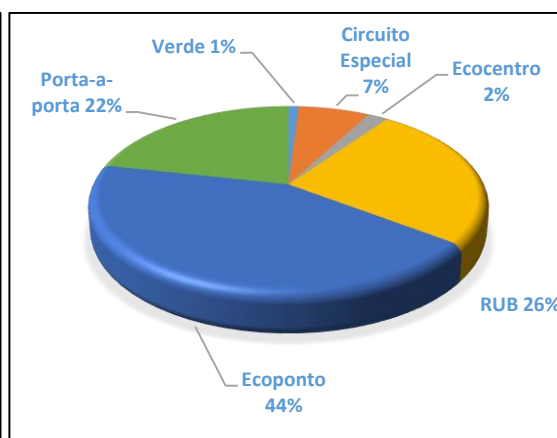


Fig. 5.14: Recolha seletiva (APA, 2018)

As entidades envolvidas no projeto foram Proet, empresa de engenharia da EDP, Consórcio Grupo Forster & Wheeler (Fig.5.15). A caldeira é da Forster & Wheeler, grelha da Detriot Stoker, extrator de escórias da Babcock & Willcox, turbina da Dresser-Rand, tratamento de gases da ABB com um custo de 172 M € (Valorsul, 2018). Possui 3 linhas com forno-caldeira em atividade e com a possibilidade de construção de uma quarta linha incluindo a saída na chaminé. Opera em regime de 24 horas durante todo ano, excetuando as paragens anuais

para manutenção e limpeza dos equipamentos e outros. Tem capacidade máxima de processamento de 662 000 t/ano (cerca de 28 ton/dia) no processo de combustão em massa ou em inglês “*mass burning*” e os resíduos possuem 7 820 KJ/kg de PCI. O caudal na turbina é de 198 000 kg/h, com o vapor a 52.8 bar e temperatura 420°C, onde o consumo interno é de 89KWh/t de resíduo, ou seja, 50.5 MW onde 45 MW são distribuídos na rede e 5.5 MW são para consumo interno (Valorsul, 2018). Trata resíduos sólidos urbanos e equiparados.



Fig.5.15: Central de Valorização Energética Valorsul (Valorsul, 2018)

Quanto ao tratamento dos gases de combustão, numa primeira fase na câmara de combustão decorre o processo de SNCR – remoção seletiva não-catalítica com injeção de amónia e retenção dos gases de combustão durante 2 segundos a 1 100°C. A remoção de gases ácidos e compostos halogenados decorre num processo semi-húmido por injeção de leite de cal. Para remoção dioxinas, furanos e metais pesados, usa-se injeção de carvão ativado e para remoção de partículas, o filtro de mangas (Valorsul, 2018).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA KVA BUCHS

KVA – Kerichtverbrennungsanlage, que em português significa unidade/central de incineração/queima de resíduos sólidos urbanos. Situa-se no Cantão de Argau, fronteiro com Cantão de Zurique.

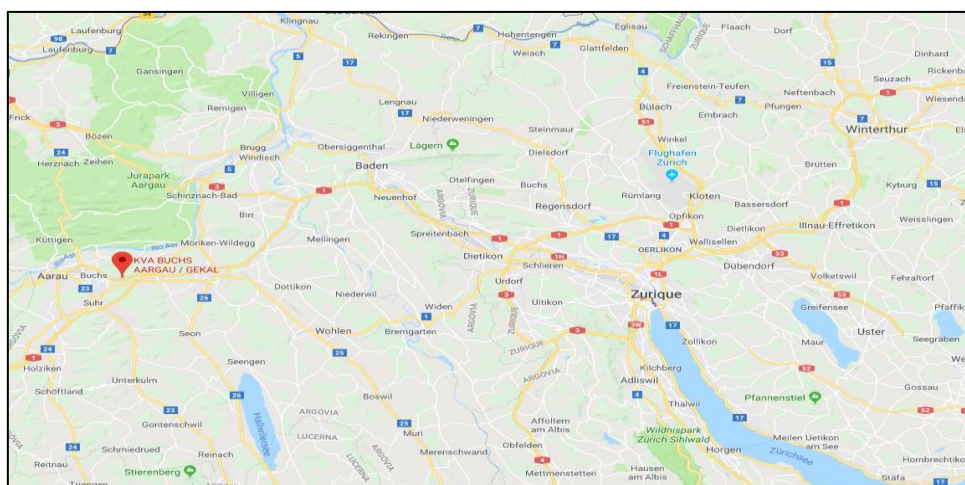


Fig.5.16: Localização geográfica da KVA Buchs (Google Maps, 2018)

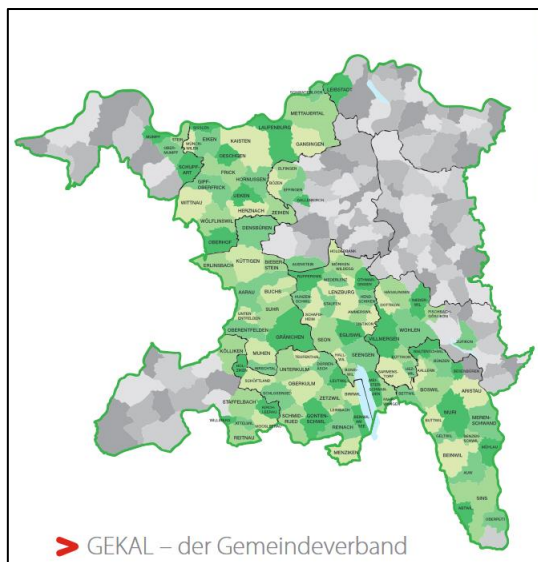


Fig.5.17 - Municípios/Juntas de Freguesias pertencentes à GEKAL (KVA Buchs, 2018)

KVA Buchs é também designada por GEKAL -Zwerkverband für Kerichbeseitigung Region Aargau-Lenzburg numa associação intermunicipal de 32 municípios/juntas de freguesia criada em 1969 devido à problemática da deposição dos resíduos em aterro. Atualmente (Fig. 5.17) são mais de 100 municípios/juntas de freguesia de Cantão de Aargau que integram este sistema e serve cerca de 300 000 habitantes (KVA Buchs, 2018).

Em 1992 implementou o projeto Fernwärme Wynenfeld AG (FEWAG), traduzido Aquecimento Urbano de Wynenfeld AG. Consiste no aquecimento de espaços comerciais, de lazer e unidade de saúde. Na Fig. 5.18 está representado o esquema do fornecimento de calor e eletricidade, onde Frey AG, Mibelle AG, Jowa AG, Migros AG, Genossenschaft Migros e Hospital Cantonal beneficiam deste sistema desde 1984 e mais tarde integraram a Möbel Pfister AG, Schimmbad e TBS (Buchs, 2018).

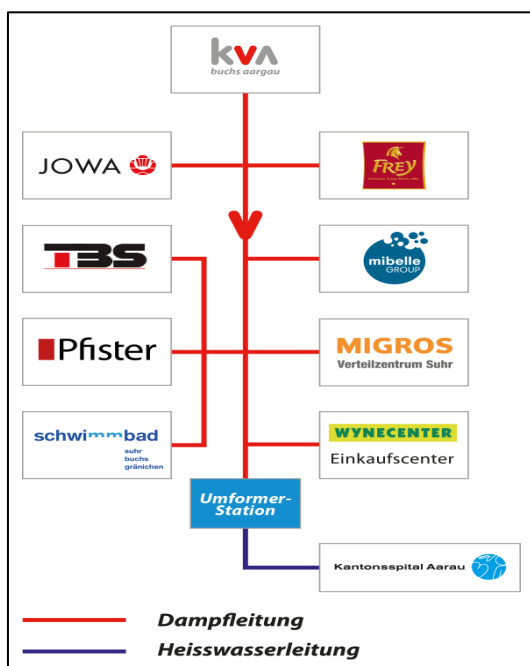


Fig. 5.18: Esquemática de FEWAG (Buchs, 2018)



Fig. 5.19: Conduitas de FEWAG (Buschs, 2018)

O sistema de condutas tem cerca de 6 km e fornece vapor a 22 bar, 280°C e calor máximo de 18 MW num fornecimento anual de 65 milhões de kWh (Fig. 5.19) (Buchs, 2018).

KVA Buchs é composta por duas linhas independentes, os sistemas forno/câmara de combustão são da Martin GmbH e as caldeiras são da Wehrle-Werk AG. O vapor produzido é usado em cogeração: calor e energia elétrica. Recebem diariamente cerca de 300 a 600 toneladas de resíduos urbanos e equiparados. Na Fig. 5.20 está representado um esquema geral das linhas de produção de KVA Buchs. Os resíduos são descarregados na fossa de receção e sofrem um pré-tratamento, os resíduos passam por uma destroçadora a fim de reduzir volumes e uniformizar o tamanho do resíduo e depois são introduzidos na tremonha para iniciar o processo de incineração. Nesta central, no período de verão, é possível retirar parte do material da destroçadora e enfardar armazenando-o para posterior utilização no inverno, desta forma assegura-se o rendimento energético e calor produzidos pela incineradora. As escórias são armazenadas e tratadas posteriormente, com a retirada de metais ferroso e não ferrosos e enviados depois para reciclagem (KVA Buchs, 2018).

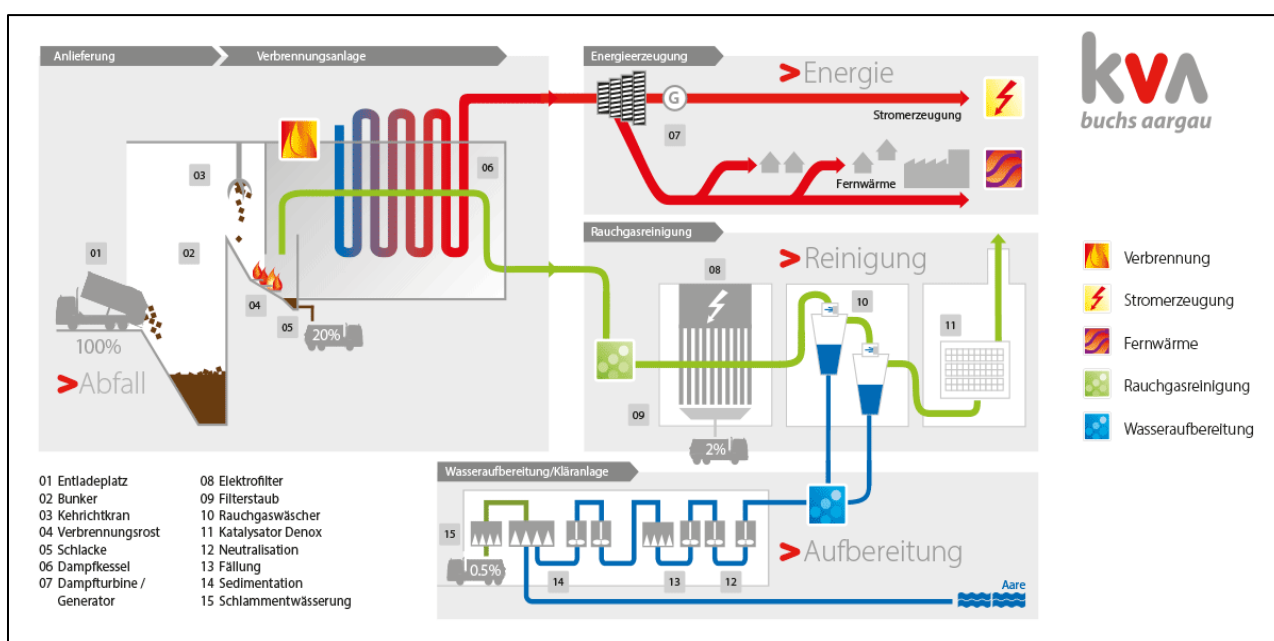


Fig. 5.20: Esquema geral da KVA Buchs (KVA Buchs, 2018)

No tratamento dos gases de combustão, os gases são conduzidos para o sistema de limpeza dos gases, que se inicia com os filtros eletrostáticos para remoção de poeiras e partículas. Seguem, depois da limpeza a seco, para o sistema de lavagem de gases, que decorre em duas fases: numa primeira fase são retirados elementos que contribuem para as chuvas ácidas (HCl e SO₂), por injeção de água e metais pesados (mercúrio, chumbo). Na segunda fase, para redução dos óxidos de azoto, os gases de combustão são encaminhados para uma instalação de desnitrificação, comum a ambas as linhas. Este equipamento consiste num permutador de calor gás-gás e vapor-gás para o aquecimento dos gases até 240°C, também designado catalisador. A injeção de amónia no catalisador permite a conversão de elementos em nitrogénio e vapor de água (KVA Buchs, 2018). O gesso removido durante o tratamento das águas residuais é precipitado e desidratado, e fornecido à indústria cimenteira para ser usado como agregado na produção de clínquer (KVA Buchs, 2018).

6. INCINERAÇÃO OU TRATAMENTO TÉRMICO DOS RESÍDUOS

6.1 INTRODUÇÃO

É fundamental a implementação de estratégias que consigam responder de forma adequada à problemática dos resíduos e reconhecer a importância de um sistema de recolha, tratamento e eliminação capaz de eficazmente e eficientemente adequar soluções que minimizem aos impactos que os resíduos provocam no meio-ambiente e na saúde pública.

As formas mais comuns de deposição final dos resíduos são aterros sanitários e incineração com ou sem recuperação de energia sendo a mais comum com recuperação de energia. Após a coleta e seleção dos resíduos através da reciclagem, existem materiais que devido à sua composição físico-química não podem ser incluídos na cadeia de reciclagem sendo o confinamento a única solução.

Segundo a Directiva nº1999/31/CE de 26 de Abril ou Directiva Aterro, a construção de novas áreas para estes fins está limitada e restringe a deposição de resíduos orgânicos nos que estão em funcionamento. Estas restrições obrigam a um reajustamento das estratégias e políticas de gestão de resíduos pelos EM, de forma a colmatarem o excedente de resíduos que não possam ser depositados em aterros desenvolvendo assim outras soluções de tratamento para lidarem com estes resíduos. Outro argumento que apoia a teoria de não deposição em aterros sanitários é o facto de a maioria dos produtos atualmente no mercado serem compostos por substâncias químicas sobre as quais pouca informação existe, e sobre como estas reagem entre si e por longos períodos. Esta falha de conhecimento é traduzida em fraca avaliação dos impactos dos materiais que se encontram em aterros sanitários sendo difícil determinar uma estimativa real da quantidade de emissões libertadas por um aterro (Finveden *et al.*, 2006)

Neste cenário a incineração ou tratamento térmico de resíduos surge como solução para o problema adicionando o facto de este processo crescer a produção energética. A incineração é um processo relativamente antigo ao qual o Homem sempre recorreu para reduzir o volume e eliminar os resíduos.

O primeiro incinerador de resíduos urbanos surgiu em Nottingham-Inglaterra em 1854 e dois anos mais tarde, em 1856 em Manchester Alfred Fryer construiu o protótipo das consideradas incineradoras atuais (Melosi, 2004). Até à década de 50 do séc. XX, as centrais de tratamento térmico de resíduos não apresentavam recuperação energética, tanto na forma elétrica como forma de vapor sendo este libertado na chaminé junto com os gases de combustão. Estas incineradoras apresentavam-se características rudimentares, primitivas e muito simples comparativamente às atuais, operavam em regime descontínuo sem qualquer tipo de preocupação em relação aos resíduos que ficavam na fossa durante os períodos de inatividade dando origem aos maus cheiros e fumos desagradáveis, que de certa forma contribuiu para a má percepção e fama que o público tem em relação às incineradoras (Dias, 1997). Em virtude deste desconforto público muitas unidades desta natureza foram encerradas e este cenário só seria revertido devido à crise petrolífera sentida na década de 70 séc. XX, que obrigou a rever as prioridades energéticas por parte dos governos. A partir de década de 70 séc. XX, surgiram as primeiras preocupações com o ambiente, sobretudo em relação à emissão de poluentes gasosos, o que provocou o aparecimento de incineradoras de câmara dupla, e surgem também os primeiros passos no sentido de recuperação energética e calor (Henriques, 2004). Entre os anos 80 e 90, dá-se a implementação de recuperadores energéticos e de calor em quase todas as unidades, reforça-se os sistemas de tratamento de gases e o melhoramento

do rendimento das caldeiras. A partir dos anos 90, o tratamento de gases de combustão tornou-se mais sofisticado e eficiente (NO_x , dioxinas e furanos) de forma a inertizar os compostos, e melhorar o processo de combustão (Henriques, 2004).

A perspetiva e conceito de resíduo foi sofrendo alterações ao longo das últimas décadas ultrapassando a visão de sujo, repugnante e sem valor para uma perspetiva útil, com valor e até mesmo de matéria-prima para processos industriais ao mesmo tempo que ajuda a solucionar parcialmente o problema de confinamento dos resíduos (Dias, 1997).

Como resultado, nos últimos anos ocorreu um investimento massivo nas tecnologias de incineração e tratamento de gases de combustão, sendo este muito mais expressivo no Norte da Europa do que a Sul, uma das razões para estas diferenças prende-se com o elevado capital inicial necessário para a projeção, construção e manutenção destas unidades e o seu retorno que ocorre apenas a médio e longo prazo. A nível europeu, o aterro sanitário continua a ser o confinamento final mais expressivo embora se assista a um decréscimo deste ao longo das últimas décadas. Em 1995 foram depositados em aterros, cerca de 145 milhões de toneladas de resíduos, cerca de 302 kg/*per capita* e em 2016 foram depositados cerca de 59 milhões de toneladas, cerca de 106 kg/*per capita* (Eurostat, 2017). Esta diminuição deve-se em parte às políticas e estratégias ambientais que incentivam a prevenção reutilização e reciclagem dos resíduos e o lento aumento de unidades de incineração. Entre 1995-2016 a quantidade de resíduos incinerados aumentou em 34 milhões de toneladas, subindo de 67 kg/*per capita* para 131 kg/*per capita*. A reciclagem também aumentou e substancialmente, de 25 milhões de toneladas em 1995 para 71 milhões de toneladas em 2016, o que representa um aumento de 52 kg/*per capita* em 1995 para 141 kg/*per capita* em 2016 (Eurostat, 2017).

6.2 PROCESSO DE INCINERAÇÃO: COMBUSTÃO

O processo de incineração ou valorização energética dos resíduos, segundo a Portaria n°15/96 de 23 de Janeiro revogada pela Portaria n° 209/2004 de 3 de Março, traduz-se pelo recurso a resíduos combustíveis com efeito de produção de energia através do processo de combustão direta, dando-se assim a transformação química e física dos resíduos. Este processo apresenta vantagens e desvantagens (Afonso e Tomás, 2011; Carsian, 2013; Dias, 1977; Quina, 2005).

Como vantagens destaca-se **i)** proximidade do local de coleta, reduzindo os custos de transporte; **ii)** redução de volume em 80 a 95 % e em massa de 70%; **iii)** cinzas produzidas são biologicamente estéreis, destruição dos agentes patogénicos; **iv)** controlo das emissões de gases mais eficaz do que nos aterros; **v)** valorização energética dos resíduos.

E como desvantagens refere-se: **i)** maior custo de investimento inicial e de manutenção; **ii)** período de retoma do investimento é maior; **iii)** pode diminuir o incentivo à reciclagem para garantir o rendimento energético do processo; **iv)** produção de escórias, gases de combustão e efluentes líquidos que requerem tratamento específico; **v)** produção de dioxinas, furanos e metais pesados.

Existem propriedades dos resíduos que influenciam o processo de combustão, grau de humidade, ideal inferior a 50%, composição físico-química, elementar e molecular, e poder calorífico inferior (PCI), ideal superior a 1100Kcal/kg (Afonso e Tomás, 2011; Casian, 2013).

Basicamente todas as incineradoras são compostas por secções ou componentes comuns, de acordo com o apresentado na figura 6.1:

- Receção dos resíduos e armazenamento (1 a 2);
- Sistema de alimentação do forno ou câmara de combustão (3 a 5);
- Sistema de combustão ou caldeira (6 a 9);
- Sistema de recuperação de calor para produção de energia elétrica (10, 12 e 13);
- Sistema de recolha de escórias (11)
- Sistema de tratamento de gases de combustão (14 a 17);
- Sistema de recolha de cinzas volantes e resíduos de controlo de Poluição (18)

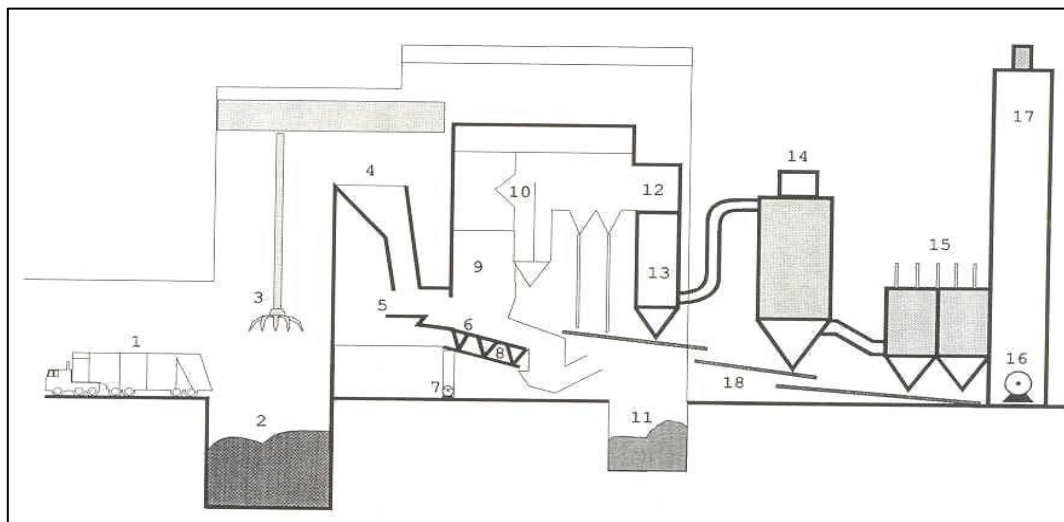


Fig.6.1: Esquema Geral de uma unidade de incineração (Chandler et al., 1997)

Quanto ao processo de alimentação, as incineradoras são caracterizadas como, (Caixeta, 2005; Casian, 2013; Quina, 2005):

- Incineradoras descontínuas ou por partículas – sem recuperação de energia, na sua maioria em crematórios e algumas indústrias de pequena dimensão;
- Incineradoras contínuas – atualmente a larga maioria em atividade e com recuperação energética, e incluem diversos tipos de variáveis segundo o tipo de resíduos (perigosos ou não), seu estado físico e dimensões, tais como:
 - **Mass burning** – resíduos queimados sem qualquer pré-tratamento. São as mais comuns na Europa para tratamento de resíduos urbanos;
 - **Queima seletiva ou RDF (Refuse Derived Fuel)** – os resíduos são separados em duas frações, combustível e não combustível;
 - **Leito fluidizado ou fluidized bed incineration** – descoberto por Fritz Winkler na década 20 do séc. XX, inicialmente usado para a queima de carvão e biomassa. Método que consiste na circulação de um fluido, estado líquido ou gasoso, num reator no sentido ascendente através de um leito sólido (Thomé-Komiensky, 1994). É também adequado a resíduos com elevados conteúdos de humidade e compostos voláteis e substâncias poluentes (lamas de ETAR e combustíveis derivados de resíduos-CDR). Existem vários leitos: leitos estacionários ou borbulhantes, leitos turbulentos e leitos circulantes ou de fluidização rápida (Carsian, 2013);

- **After-burners** – também designado por incinerador de chama direta ou oxidante termal, comum para a queima de gases COV (compostos orgânicos voláteis) e partículas resultantes da combustão parcial de hidrocarbonetos, etc (EPA, 2018)
- **Incineradoras por plasma** – Um gás é aquecido a elevadas temperaturas, a 2000°C o gás assume estado atômico e a 3000°C assume estado ionizado ou plasma (Rigato, 2008).
- **Incineradoras de Trommel/forno rotativo** – queima de resíduos sólidos preferencialmente perigosos. A rotação do forno promove a mistura adequada dos resíduos com o ar (Carsian, 2013).

A zona de receção, apresentada na Fig.6.1, designa-se por fossa (2). Deve ser grande o suficiente para permitir um processo de combustão contínuo, com capacidade para receber os volumes de resíduos das coletas e permitir a homogeneização destes. Os resíduos são introduzidos na tremonha pela grua, operada por um funcionário, assegurando desta forma um processo contínuo e com baixas variações de temperatura (Afonso e Tomás, 2011; Silva, 2014).

A tremonha (4) (Fig.6.1), possui no topo válvulas que impedem o fogo de alastrar aos resíduos colocados na fossa, isola o sistema de forma a garantir uma combustão eficiente. Aqui, os resíduos caem no fundo da tremonha e são empurrados para o interior do forno e para a câmara de combustão através de alimentadores mecânicos automáticos de forma a garantir a continuidade da alimentação dos resíduos e impedir a acumulação de resíduos em locais inapropriados (Dias, 1997; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap. 5)

Na fornalha ou forno e na câmara de combustão (6 a 9) (Fig.6.1), é o local onde ocorre a queima dos resíduos. A fornalha ou forno e a câmara de combustão localizam-se à entrada da caldeira (9 a 10) (Fig.6.1). O forno apresenta, em norma, uma configuração aquatubular, revestido verticalmente por um sistema de tubagens que contêm água, e quando aquecida forma vapor aproveitado para posterior produção de energia elétrica e/ou aquecimento (Dias, 1997). Este possui no seu interior queimadores (piloto e auxiliar) cujas principais funções são: provocar a combustão dos resíduos que apresentem baixo poder calorífico e garantir temperatura mínima de 850°C na câmara de combustão após a última entrada do ar secundário. Desta forma garante-se o aquecimento da câmara de combustão até à temperatura mínima e que esta se mantém no interior da câmara até não haver mais resíduos ou aquando da suspensão da incineradora (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap. 5).

Situado na base do forno encontra-se a grelha (6) (Fig.6.1), um dos principais elementos deste segmento, pois controla três parâmetros fundamentais da combustão: a temperatura, a turbulência e o tempo de permanência dos resíduos no interior da câmara (Dias, 1997). As grelhas possuem diversas configurações, variando segundo o conceito de cada empresa, mas existem basicamente 4 tipos (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap. 5):

- Grelhas de movimento alternado para a frente e inclinada: Ansaldo Volung, Von Roll AG, L+C Steinmüller GmbH (semelhante à da Fig.6.2 c), só altera o sentido do movimento das garras, em vez de ser para trás é para a frente);
- Grelhas de movimento alternado para trás e inclinada: Martin GmbH für Umwelt (Fig.6.2 c);
- Grelhas rolantes inclinadas: DeutscheBabcock Anlagen GmbH (Fig.6.2, b);

→ Grelhas de movimento duplo sob pressão horizontal: ABB Umwelt Technik GmbH (Fig.6.2, a).

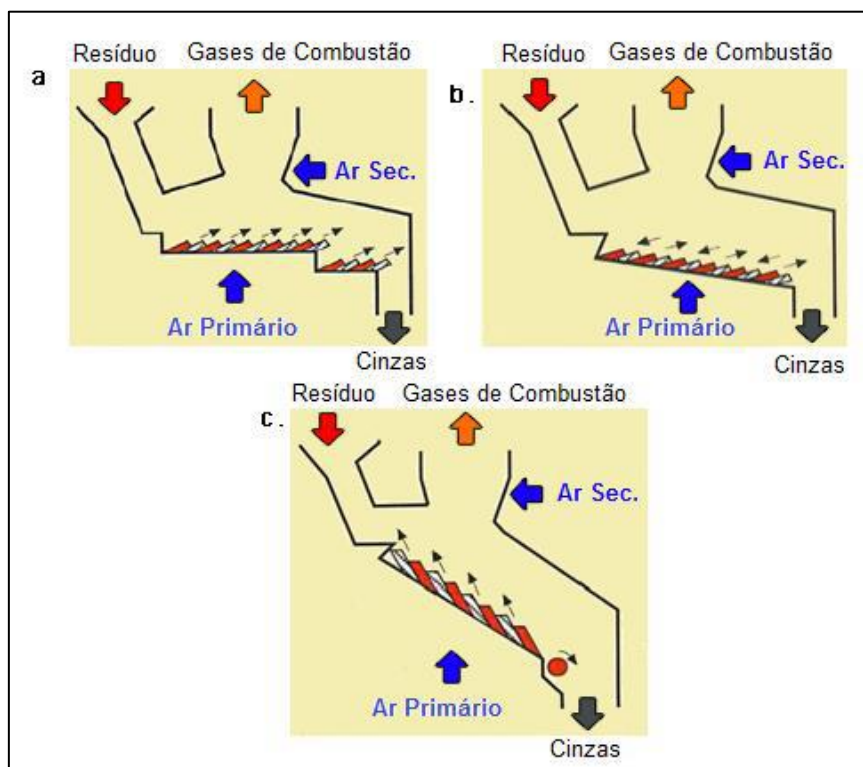


Fig.6.2: Tipos de Grelhas (Thomé-Kozmiensky, 1994. Cap.5)

O fundo da grelha é composto por pequenas barras de ferro inoxidável (Fig.1, Anexo 6) dispostas paralelamente e em várias filas de forma a terem mobilidade simultânea. Estas barras são responsáveis pelo transporte e mistura dos resíduos ao longo da grelha e pela mistura de O_2 primário garantindo o melhor rendimento energético e estequiométrico da combustão. No forno, o processo de queima decorre em duas fases: **câmara de incineração primária** e **câmara de incineração secundária**.

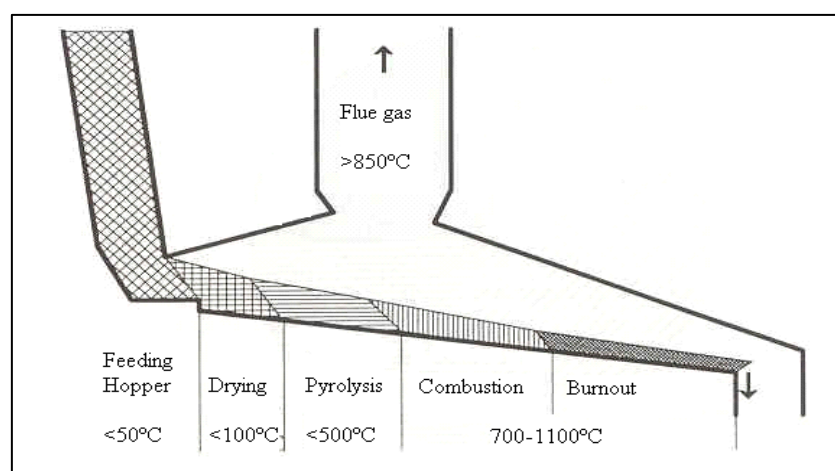


Fig.6.3: Temperaturas comuns na grelha (Chandler et al., 1997)

Na **câmara de incineração primária** (Fig.6.3) - o processo de combustão tem uma duração de 30 a 45 minutos e os resíduos passam por três setores da grelha: **secagem** – resíduos são pré-

aquecidos libertando alguma humidade para assegurar uma combustão eficaz e a temperatura ronda os 65 a 75°C inicialmente e sobe aos 235°C, designada temperatura de ignição dos resíduos; **pirólise ou volatilização** – do grego *pýros* fogo e *lýsis* quebra, as ligações químicas são quebradas devido às temperaturas elevadas libertando a matéria volátil contida nos resíduos (Machado, 2015). Esta fase é muito importante para a ignição dos resíduos visto que os gases voláteis queimam mais rápido que a componente sólida dos resíduos, estes determinam a estabilidade da chama, a formação de compostos NOx e a quantidade de escórias e suas características físico-químicas; e **incineração** – a queima dos resíduos, redução de volume e que decorre a temperaturas de 900°C originando escória. Nesta zona da grelha o O₂ é injetado próximo da estequiometria para evitar altas temperaturas e reduzir ao máximo a turbulência. As condições de oxidação são também controladas garantindo a redução de volatilização de metais pesados como cádmio, mercúrio e chumbo, e evitando a formação de óxido de azoto e partículas volantes (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap. 5).

Na **câmara de incineração secundária ou “afterburner”** – o processo de incineração tem duração no mínimo de 2 segundos, ocorrendo descarga de cinzas, adição de mais O₂. Como, os gases resultantes da combustão primária ainda contêm produtos de combustão, temperaturas na ordem dos 850 a 1250°C são praticadas de forma a garantir a destruição completa dos produtos gasosos como dioxinas, furanos e PHA's e injeção de ar secundário acima da massa de combustão promove a turbulência e mistura e reduz a emissão de partículas como fuligem, HO, CO (Casian, 2013; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5). O tempo de permanência dos resíduos na câmara de combustão varia consoante o Poder Calorífico Inferior (PCI) destes, quanto maior for o valor de PCI menor o tempo de permanência (Machado, 2015).

A entrada de ar na câmara de combustão ocorre de duas formas: **entrada de ar primário**: tem a função de assegurar uma distribuição homogénea e uniforme ao longo da grelha e arrefecimento (Casian, 2013; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5), este provém do ar da fossa, aspirado para o sistema e filtrado para eliminar partículas, garantindo a redução de maus cheiros para o exterior (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5); **entrada de ar secundário**: sua localização é variável, depende do conceito da empresa, mas normalmente na parte superior da grelha, promovendo a mistura dos gases originados na combustão, realizando o “afterburning” destes dando origem ao processo gaseificação (Casian, 2013; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5).

No interior da câmara de combustão, ocorre acumulação de gases de combustão. Aqui é importante o aspeto da turbulência, para ocorrer a mistura destes com o ar e o processo de combustão. Foi estabelecido a nível europeu, que o tempo de permanência deverá ser a temperatura mínima de 850°C por um período de 2 segundos (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5). O fenómeno da turbulência pode decorrer de três formas: **i) turbulência contínua**: a circulação dos resíduos e gases de combustão circulam no mesmo sentido, ocorre em resíduos com elevado poder calorífico; **ii) turbulência descontínua**: para resíduos com poder calorífico baixo e caracterizado pela circulação contrária dos resíduos e dos gases de combustão; **iii) turbulência intermédia**: os resíduos e os gases de combustão circulam em regimes opostos mas juntam-se à saída do forno (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5). A turbulência permite a homogeneização da atmosfera dentro do forno, garantindo a circulação constante de ar e a queima eficiente e eficaz de substâncias tóxicas e contribuindo para a diminuição dos riscos ambientais e de saúde pública, sendo ajustada durante o processo através do ar secundário.

Outro aspeto fundamental na incineração dos resíduos é o tempo de permanência dos resíduos no interior do forno e a duração da queima, que como atrás referido, deverá ser de 2 segundos a temperatura mínima de 850°C na zona “afterburning” que começa no momento de entrada da última levada de ar secundário (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5). Para os resíduos que possuam poder calorífico inferior menor que 6 650 Kj/kg a temperatura deverá ser superior a 860°C e para resíduos com valores superiores a 8 400 Kj/kg a temperatura deverá ser superior a 850°C e por um tempo de permanência não inferior a 2.15 segundos (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.5).

6.3 VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA: VAPOR E ELETRICIDADE

A valorização energética dos resíduos consiste na recuperação da fração energética neles contida através e um processo controlado onde se converte o calor libertado em energia elétrica e calor. Desta forma reduz-se o espaço para confinar os resíduos e valoriza-se o seu conteúdo energético. Para gerar vapor é necessário ter equipamento apropriado para produção deste, os geradores de vapor, sendo a designação mais comum, caldeiras a vapor embora corresponda na realidade a um dos componentes deste sistema. Basicamente os geradores de vapor vaporizam um líquido, mais comum a água, aumentando a sua energia específica e podem assim usá-la de várias formas, no caso concreto para gerar energia elétrica e vapor sob forma de calor para aquecimento. A problemática de deposição de sedimentos nas tubagens e superfícies deste sistema coloca em causa o rendimento energético da instalação que depende do tipo de caldeira, do tipo de combustível e temperaturas a que o sistema opera (Reichelt, *et al.*, 2013). Assim os geradores de vapor são compostos por (Fig. 6.4): **i) forno ou câmara de combustão, ii) caldeira a vapor, iii) superaquecedor, iv) economizador, v) pré-aquecedor de ar, vi) sistema de triagem** (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8).

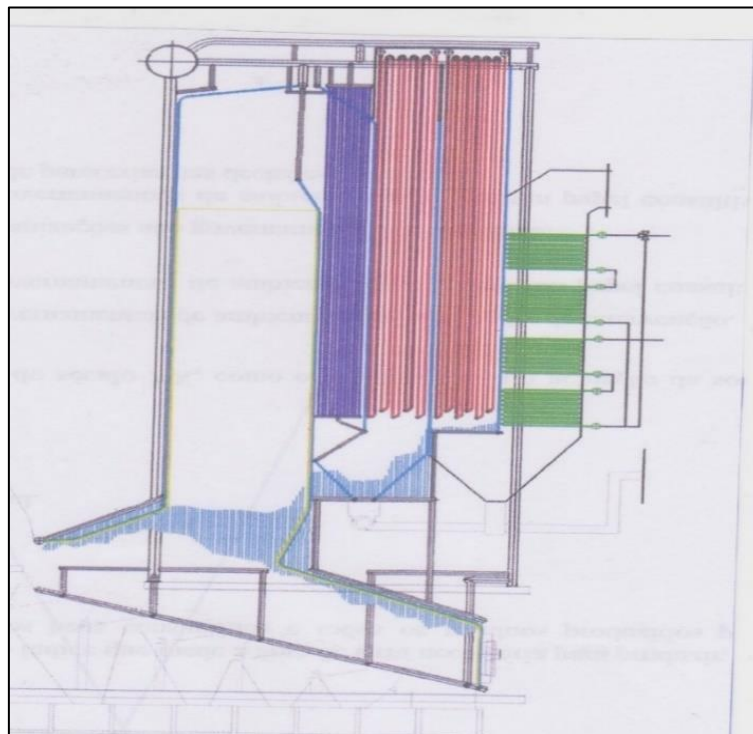


Fig.6.4: Geradores de Vapor. *Superaquecedor Vaporizador Paredes da Caldeira Economizador* (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8)

Forno ou câmara de combustão encontra-se descrito em pormenor no subcapítulo anterior. Mas numa forma resumida, no forno a humidade contida nos resíduos é evaporada, a componente volátil é volatilizada (pirólise), processo de combustão dos resíduos por meio da mistura de ar e combustível em associação com a turbulência e permite a transferência de calor. Os fornos trabalham com pressão inferior à P_{atm} , pressurizado, de forma a evitar vazamentos e garantir a circulação dos gases de combustão num único sentido. Os gases de combustão que ardem na parte superior do forno a $850^{\circ}C$ aquecem as tubagens de água que revestem o forno e esta é encaminhada para a caldeira para produção de vapor.

Caldeira a vapor: As primeiras caldeiras surgiram no séc. XVII com o inventor inglês Thomas Savery que em 1698 patenteou o sistema de bombeamento de água usando vapor, baseado nas descobertas do físico francês Denis Papin. Em 1712, Thomas Newcomen e John Calley desenvolveram os conceitos dos anteriores inventores e criaram um reservatório esférico com aquecimento direto na parte inferior, também designada caldeira de Haycook. Em 1769, James Watt desenvolve o conceito de caldeira vagão, precursora das usadas nas locomotivas a vapor. Comum a estas invenções era o facto de ocorrerem graves explosões devido ao excesso de pressão no interior destes equipamentos. Entre final do séc. XVIII e início do séc. XIX surgiram as primeiras caldeiras com tubos de água, John Stevens desenvolveu o primeiro barco a vapor com caldeiras deste género e em 1856 Stefan Wilcox e George Babcock desenvolveram caldeiras com tubos inclinados, que ainda hoje são muito utilizadas (Wilcox & Babcock). Alan Stirling em 1880, desenvolveu conceito de caldeira com tubagem curvada usada atualmente em caldeiras de grande porte. A partir do séc. XX, as caldeiras evoluíram em termos técnicos, o aumento da temperatura, da pressão e do trabalho o que implicou um aumento o rendimento térmico. As caldeiras são classificadas em três tipos (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8):

Flamotubulares: caldeiras onde os gases de combustão circulam no interior de tubos que se encontram emersos em água vaporizando-a. São muito comuns para pequenas demandas de vapor aproximadamente 10ton/h a 10bar, podendo chegar a 15 ou 20bar. São flexíveis em termos de produção de vapor, fácil construção, não necessita de tratamento prévio de águas. Em contrapartida, têm um arranque lento, são bastante volumosas e possuem um défice de circulação de água. Podem ser verticais ou horizontais.

Aquatubulares: caldeiras onde os gases de combustão circulam no exterior das tubagens que contêm água, vaporizando-a. Suportam altas pressões, com um arranque mais rápido, boa circulação de água que pode ocorrer por convecção natural ou forçada (bombas). Em contrapartida, a água deve ser pré tratada, as paredes refratárias e são sensíveis à variação brusca de produção de vapor.

Mistas: são caldeiras flamotubulares que possuem uma antecâmara de combustão e paredes revestidas com tubagem que contêm água.

As mais comuns na incineração de resíduos são as aquatubulares precisamente devido à necessidade de operarem com elevadas pressões e gerarem grandes quantidades de vapor, isto é, são equipamentos que trabalham com altas pressões e temperaturas, normalmente 4,5 MPa ou 45bar e temperaturas entre 430 e $450^{\circ}C$ (Machado, 2015; Solé, 2011; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Existem incineradoras que trabalham com valores de 78bar e $700^{\circ}C$, contudo tais valores podem provocar problemas de corrosão (Solé, 2011; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Sendo uma área de transferência, têm como função transferir o calor proveniente dos gases de combustão, a energia térmica para a água convertendo-a em

vapor, que com uma determinada pressão e temperatura, é canalizado até à turbina a vapor convertendo energia mecânica em energia elétrica (Solé, 2011). A alternância da água entre o estado líquido e gasoso na parte superior da caldeira garante maior rendimento e otimização do processo de valorização energética (Solé, 2011). É importante que os gases de combustão circulem a velocidade constante e regular, aproximadamente 10 m/s, para permitir a deposição das cinzas no coletor de cinzas por ação da gravidade e a temperatura deverá rondar os 750°C devido ao perigo de corrosão e incrustação da caldeira e das tubagens (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Este parâmetro é influenciado pela geometria da caldeira e do economizador (Reicheld, *et al.*, 2013). São compostas por dois ou mais reservatórios designados por tambor ou trommel e é uma das principais componentes da caldeira. Na parte superior o tambor ou trommel apresenta forma cilíndrica e tem como principal função separar a mistura vapor-água ambos saturados. No tambor ou trommel inferior também cilíndrico decorre a decantação dos sólidos em suspensão na água. Os tubos da caldeira podem ser retos ou curvados e os mecanismos de transferência do calor dos gases para as superfícies da caldeira decorrem através de fenómenos de convecção, condução e radiação. **Convecção**, define-se como o movimento ascendente e descendente de matéria no estado líquido ou gasoso e ocorre na segunda secção das tubagens, secção de convecção. **Condução** é o fenómeno da transferência de calor devido ao diferencial de temperatura. **Radiação**, transferência de energia térmica ou calor sob forma de ondas eletromagnéticas, ocorre na primeira secção, secção de radiação (Halliday, Resnick e Walker, 2009; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8).

Super-aquecedor (Fig.6.4) localiza-se ao centro na parte superior da caldeira (entre a caldeira e o economizador) e é zona de transferência de calor entre os gases de combustão e a água no interior das tubagens e tem como principal função aquecer o vapor, aumentar a temperatura sem, contudo, aumentar a sua pressão, tornando-o mais seco (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Recebe o vapor proveniente da caldeira (tambor ou trommel superior) e o vapor proveniente da turbina em setores independentes um do outro, super-aquecedor primário e secundário respetivamente, gerando vapor quente, fornecendo calor ao vapor saturado proveniente do tambor e ao vapor arrefecido proveniente da turbina. A velocidade da passagem do vapor e da água é um parâmetro fundamental que deve ser constante e, contudo, elevado, aproximadamente 40 m/s para assegurar uma transferência de calor eficiente e aumentar o rendimento energético da caldeira e da turbina (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). As disposições das tubagens dos superaquecedores podem ser verticais ou horizontais, sendo que a disposição horizontal permite uma limpeza e manutenção mais eficaz (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8), já que a deposição nas superfícies dos superaquecedores diminuem a área de convecção logo a rentabilidade energética (Reichelt *et al.*, 2013).

Economizador (Fig.6.4) é o equipamento que permite a permuta de calor entre duas substâncias, água e gases de combustão, tendo como principal função aquecer o fluido, a água de alimentação e recuperar o calor residual contido no vapor e nos gases de combustão (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Encontra-se logo depois do super-aquecedor e antes do sistema de limpeza dos gases de combustão. Podem ser do tipo economizador: equipamento que usa os gases de combustão ou regenerador: equipamento que usa o vapor da extração. As incineradoras usam preferencialmente o primeiro tipo embora seja possível a construção de um economizador externo que trabalhe com vapor extraído (Paschotta, 2017; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Composto por permutadores de calor, que são equipamentos que

permitem a transferência de calor entre duas substâncias sendo principalmente constituídos de duas formas:

- i) **permutador de corrente contínua (Fig.6.5):** ambos os meios ou substâncias circulam pelo permutador no mesmo sentido, e à saída ambas as substâncias ou meios estão aproximadamente à mesma temperatura
- ii) **permutador de contra corrente (Fig.6.6):** ambos os meios ou substâncias circulam no permutador em sentidos opostos e aqui a permuta é mais eficaz e eficiente havendo um arrefecimento e um aquecimento.

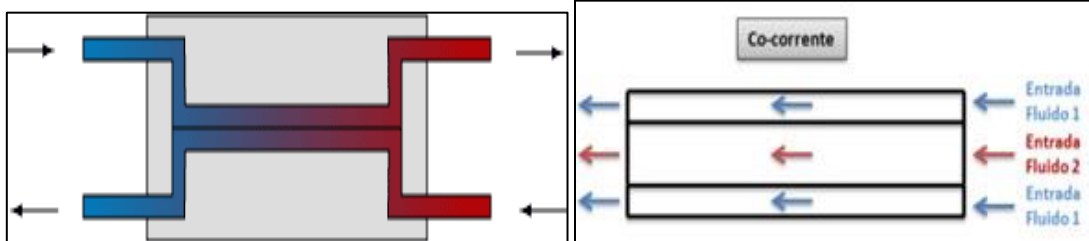


Fig. 6.5: Permutador de contracorrente (Pachatta, 2017)

Fig.6.6: Permutador de corrente contínua (Lopes, 2013)

Relativamente ao ar primário há um importante parâmetro a considerar, o seu pré-aquecimento, devido ao baixo poder calorífico dos resíduos ou ao elevado teor de humidade. As temperaturas de pré-aquecimento estão entre os 100 e 180°C e este processo está dependente da empresa responsável pela construção da incineradora, mas pode variar em 5 formas - troca de calor com 1. o vapor saído da caldeira, 2. vapor de média pressão, 3. água quente, 4. água de alimentação ou 5. gases de combustão (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Caso os resíduos apresentem um poder calorífico elevado tal procedimento não é necessário (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8). Outro parâmetro que grande relevância é o arrefecimento do vapor. A oscilação da temperatura pode causar danos aos superaquecedores e à turbina. Para assegurar uma temperatura regular e estável durante o processo de queima e produção de energia é necessário implementar algumas medidas como a subdivisão do superaquecedor em três ou mais secções e entre estas existir um arrefecedor a vapor para assegurar a regulação da temperatura. O arrefecimento pode decorrer de três formas (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.8):

- i) arrefecimento do vapor através de um permutador de calor, cruzamento de água fria com água quente e a água pode ser água de alimentação ou do tambor;
- ii) mistura de vapor frio com vapor quente, existe um desvio de vapor do tambor e o arrefecimento ocorre com temperatura de vapor saturado, regressando posteriormente ao fluxo de vapor;
- iii) injeção de água de alimentação, água sem sal desviada da tubagem da água de alimentação.

Após a vaporização da água, o vapor é encaminhado para a turbina a vapor. A turbina é um equipamento que extrai energia cinética de um fluido com velocidade elevada e a converte em trabalho. As turbinas a vapor foram as primeiras a serem utilizadas e a primeira turbina foi descoberta por Sir Charles Parsons em 1884 e gerava cerca de 7.5 KW de eletricidade. A turbina apresenta algumas componentes fundamentais para o seu funcionamento (Paschotta, 2017):

- **estator:** componente fixa da turbina que converte energia potencial ou térmica do vapor em energia cinética;
- **rotor ou roda móvel:** elemento móvel da turbina e que converte energia cinética em trabalho mecânico;
- **expansor:** orienta o jato de vapor onde este perde pressão, mas ganha velocidade. Podem ser convergentes ou divergentes, se a carga for maior ou se a carga for menor que 55% da pressão à entrada respetivamente;
- **palhetas:** local para onde o jato de vapor é orientado;
- **diafragma:** composto por dois semicírculos que dividem os vários estádios ou níveis da turbina.

Na maioria das turbinas a vapor, o vapor saturado, danifica a turbina devido à quantidade de água disponível neste. Para contornar esta situação o vapor saturado passa por um superaquecedor de forma a vaporizar as gotas de água resultando em vapor fresco ou vapor aquecido, que é o vapor ideal para a turbina e aumenta a eficiência energética. Existem turbinas que trabalham com vapor saturado, é o caso das centrais nucleares (Paschotta, 2017).

No caso da valorização energética dos resíduos, as turbinas usadas são várias todas acopladas que trabalham com diversos níveis de pressão: alta pressão (AP), média pressão (MP) e baixa pressão (BP), sendo que a última turbina, a de baixa pressão, é designada por turbina de condensação pois trabalha com vapor húmido, vapor condensado. É comum entre as turbinas de AP e MP existir um superaquecedor de forma a aquecer novamente o vapor a AP e assim aumentar o rendimento da turbina. Após a passagem do vapor na turbina, este ainda possui calor que pode ser utilizado de diversas formas (Paschotta, 2017):

- caso o calor residual do vapor de BP seja insuficiente, o princípio do Ciclo de Rankine pode ser utilizado;
- uso do calor para o processo interno e mesmo para aquecimento das instalações ou canalizado na rede de aquecimento local (urbanizações, edifícios) e indústria;
- em alguns casos o calor residual pode ser usado na produção de energia elétrica embora a eficiência do processo seja baixa e limitada, por causa do baixo diferencial de temperatura do vapor.

O vapor após a sua condensação no condensador é convertido para água de alimentação que retorna à caldeira e gera novamente vapor AP. Para isso o condensado tem de passar por um sistema de pré aquecedores, economizador-permutadores de calor, que transfere o calor contido nos gases de combustão para a água aquecendo-a, até atingir aproximadamente 250°C, aumentando assim a eficiência do processo (Paschotta, 2017). Esta permuta de calor entre gases de combustão e condensado permite o aumento da temperatura da água antes de entrar na caldeira e baixar a temperatura dos gases de combustão antes da entrada no sistema de tratamento de gases, evitando os danos nos equipamentos. Quando a turbina é acionada esta está acoplada a um gerador eletromagnético, que disponibiliza na rede elétrica a eletricidade produzida.

6.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO

6.4.1 GASES DE COMBUSTÃO

O tratamento térmico dos resíduos, apesar das vantagens, é um processo físico-químico com elevada complexidade e que apresenta riscos consideráveis para o ambiente e saúde pública. Como em qualquer processo de combustão a oxidação-redução é a principal reação química que o caracteriza e os gases de combustão são geralmente compostos por óxidos de carbono, óxidos de enxofre, vapor de água, dioxinas e furanos. Existem também outras substâncias igualmente perigosas como cloro, ácido fluorídrico, poeiras, cinzas, metais pesados (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). Após a permuta de calor entre os gases de combustão nos geradores de vapor, estes entram no processo de tratamento para reduzir efeitos nocivos antes da libertação no ambiente e é uma importante componente nas incineradoras. Existem vários sistemas de limpeza de gases que podem ser combinados com sistemas de catalisadores SCR ou SNCR (Wessely, 2012). Estes sistemas são compostos por várias combinações de entre as seguintes fases:

- **Fase Seca:** composta em dois processos: Adsorção e conjunto de filtros;
- **Fase semi-húmida:** processo de Absorção
- **Fase húmida ou lavagem dos gases**
- **Catalizadores:** SCR e SNCR.

FASE SECA

Nesta fase não há necessidade do uso de água, daí designação de seca. Dependendo do tipo de poluentes a serem retirados dos efluentes gasosos, o adsorvente, em pó, é adicionado à corrente dos gases de combustão a montante dos filtros de manga (Wessely, 2012)

Adsorção ou lavadores a seco: Neste processo tem-se a substância adsorvida, substância que adere e a substância adsorvente, substância à qual o adsorvido adere. A interação entre estas duas partes pode ocorrer nas formas física e química. A adsorção física designa-se por fisissorção e decorre através de forças de Van der Waals, onde as moléculas aderem ao adsorvente sendo estas muito fracas logo um processo facilmente reversível, comum para o tratamento de HCl e HF. Adsorção química ou quimissorção, processo de adsorção através de ligações químicas covalentes, mais fortes e exotérmicas logo irreversíveis, comum para o tratamento do enxofre e amoníaco (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). Este processo decorre em várias fases (Henriques, 2004; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9 e Wessely, 2012):

- Injeção de hidróxido de cálcio (dry scrubber) após a saída dos gases do economizador para neutralizar e capturar SO_x , HCl, HF;
- Injeção de bicarbonato de sódio para neutralizar dioxinas, furanos. É uma substância não tóxica e opera a temperaturas de 70°C gerando substâncias NaCl, Na_2SO_4 e NaF que podem ser economicamente viáveis e aproveitadas;
- Carvão ativado, para os metais pesados, as partículas de carvão ativado são porosas com áreas de 300 a 2 000m²/g, captam partículas micro e macro e reagem com quase todos os elementos tóxicos contidos nos gases de combustão exceto CO_x . O carvão ativado é recuperado, regenerado e reutilizado novamente no processo;

- Solabit é uma mistura de hidróxido de cálcio branco e carvão ativado em forma de granulado (Fig. 8). Além de interagir com ácidos contidos nos gases, reage com metais pesados como mercúrio e substâncias orgânicas, dioxinas, furanos, PCB e PAH. A combinação destes dois adsorventes complementa as suas ações individualmente.



Fig.6.7: Sorblit (Märker-Gruppe, 2018)

Estas etapas ocorrem antes da entrada dos gases no sistema de filtros (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

Filtros: Comuns no processo de tratamento de poeiras, são escolhidos segundo as suas características e propriedades, como distribuição, dimensão dos grãos, peso específico, densidade. Contudo os sistemas mais comuns são filtros de manga e filtros eletrostáticos e deposição por inércia (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

Deposição por inércia ou separadores inerciais – num separador centrífugo, uma estrutura de forma ciclónica, e segundo o princípio da separação inercial, os gases de combustão entram em rotação simétrica, girando helicoidalmente no sentido descendente onde as poeiras são pressionadas contra as paredes do ciclone devido à força centrífuga e recolhidas num depósito no fundo do ciclone e posteriormente depositadas em aterro. Os ciclones são os separadores mais comuns e têm baixo custo de capital e manutenção, podem ser simples ou múltiplos, quando colocados antes dos filtros de manga e eletrostáticos prolonga o período de vida destes, apresentam alta capacidade de retenção de partículas grande e médias e apresentam baixa capacidade de retenção de partículas finas (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

Filtros de manga: com temperaturas de 150 a 200°C (Henriques, 2004), os gases de combustão circulam numa teia de filtros porosos que retêm as partículas de pó de maior e menor dimensão devido ao efeito molecular browniano e cargas eletrostáticas. Neste tipo de filtros um parâmetro de grande importância é a área de carga que o filtro possui, sendo o valor ideal medido em m³/h por m² de gás de combustão que circula. Este parâmetro é influenciado pela temperatura dos gases, fluxo, volume e concentração das partículas nos gases. Estes filtros apresentam dois tipos de disposição, em forma de bolsa ou em forma de coluna/mangueiras, distribuídos em várias câmaras e as partículas de poeiras são recolhidas num bunker. As partículas retidas nos filtros são periodicamente removidas através do processo de vibração ou batidas, filtros são suspensos e sujeitos a pequenas vibrações (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). É prática comum conciliar vibração com limpeza por contra-corrente, onde as mangas são retiradas das câmaras e limpas recorrendo a injeção de ar no sentido oposto à entrada dos gases. As partículas retidas são fuligem, sais e poeiras mais grossas (Henriques, 2004). Apresentam alta eficiência, 99,9% e boa resistência à corrosão, e em contrapartida necessitam de grandes áreas, são equipamentos muito caros e possuem baixa resistência a baixas temperaturas (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

Filtros Eletrostáticos: são equipamentos muito comuns nas incineradoras e estão colocados a seguir aos filtros de manga. Este equipamento é capaz de filtrar as partículas de pequenas dimensões garantindo elevados valores de eficiência e eficácia quanto à remoção de poeiras

dos gases de combustão. A base de funcionamento é a ionização de partículas, criação de um diferencial de voltagem entre elétrodos, onde estas são carregadas eletricamente e capturadas por placas coletoras. Aqui são quatro os fatores que determinam a eficiência deste processo: dimensão do filtro e da estrutura de recolha, composição das partículas e tensão no campo elétrico. Estes filtros apresentam grande eficiência na retenção de partículas, baixo consumo energético e manutenção, alta capacidade de operação contínua, trabalham com altas pressões 10 atm e temperaturas até 700°C e tratam grande volume de efluentes gasosos. Em contrapartida existe perigo devido à alta voltagem, ocupação de grandes áreas e elevado custo de instalação (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

FASE SEMI-HÚMIDA

O princípio usado nesta sequência do tratamento dos gases é a absorção, sobretudo para o tratamento do enxofre e seus compostos, metais pesados e compostos halogenados (HCl, HF, HBr, HI). Assim tem-se o absorvido, substância que é incorporada e o absorvente, substância que incorpora o absorvido. Este processo é designado em inglês por “*Gas absorption*” ou “*scrubbing*” e basicamente pretende-se que um ou mais componentes dos gases de combustão sejam removidos usando um líquido, normalmente água. O principal fator é a solubilidade dos gases no líquido onde as partículas aerossóis são transferidas por suspensão para o absorvedor através de fenómenos de impacto inercial, sedimentação gravitacional, difusão Bowniana, eletrostática, difusidade térmica e transporte de massa (Thomé-kozmiensky, 1994; Cap.9). A interação gás-líquido pode ocorrer de forma física ou de forma química. No primeiro caso são caracterizados por interações e ligações mais fracas e no segundo caso as interações são mais fortes. Existem parâmetros que influenciam o modo como estas reações ocorrem: pressão, temperatura alteram o grau de solubilidade de HCl e HF. No caso do SO₂, a absorção física não é suficiente pois este gás apresenta baixa solubilidade em água havendo necessidade de adicionar substâncias que aumentem esses valores. Por esta razão a absorção de HCl e HF é separada de SO₂ (Thomé-Kozmienshy, 1994; Cap.9).

Este processo de tratamento pode desencadear-se por vários métodos (Wessely, 2012):

Absorção seca condicionada (Konditionierte Trockensorption): quando o gás de combustão é arrefecido antes de iniciar o processo de limpeza. A quantidade de água deve ser tal que permita a sua evaporação completa antes da entrada dos gases no filtro de mangas. O aumento do teor de humidade aumenta significativamente o grau de precipitação dos componentes a eliminar comparativamente com a fase seca. O aumento da humidade nos gases de combustão pode ocorrer de três formas: arrefecimento do fluxo através de um permutador de calor; injeção de água e leite de cal; ou injeção de leite de cal no fluxo dos gases.

Método MKT ou absorção seca condicionada modificada (Modifizierter Konditionierter Trockensorption): injeção de um absorvente de aspersão, normalmente leite de cal, pulverizada através de um distribuidor rotativo;

Método por spray com absorção seca modificada (S-MKT, Spühsorption mit modifizierter Trockensorption): desenvolvido pela empresa DryToSec GmbH que consiste na absorção a seco de NaHCO₃ (Bicarbonato de sódio) em vez de hidróxido de cálcio que pode ser uma mais valia em termos de emissões e em termos de operacionalidade;

Método de absorção a seco instantâneo (Flash Dryer Absorber-Verfahren): consiste no uso de cal viva combinada com hidróxido de sódio, com recurso a um misturador de forma a homogeneizar a mistura entre gases, absorventes e água. É necessário cuidado com este método já que pode ocorrer o endurecimento do absorvente e causar grandes danos na incineradora;

Método do diferencial do ponto de ebulição (Verfahren mit partiell Taupunktunterschreitung - PTU Verfahren): no processo de adsorção seca com recurso a cal pode ser otimizado se os gases de combustão atingirem o ponto de condensação (vapor saturado), ou seja, aumentar a humidade relativa, o que aumenta a capacidade de precipitação e otimiza a extração de elementos nocivos. Para o aumento da humidade relativa não é necessário aplicar o aumento a todo o fluxo, basta na zona de injeção. Este método está patenteado pela empresa Ingenieurgesellschaft für Energie-und Umweltengineering & Beratung mbH.

FASE HÚMIDA

Devido aos baixos valores de emissão a maioria das incineradoras têm no sistema de tratamento de efluentes gasosos a fase húmida. Nesta fase o pico de poluentes são absorvidos com maior eficácia do que na fase seca (Wessely, 2012). Nesta fase existem vários equipamentos para efetuar a injeção dos absorventes, os mais comuns são tipo Venturi, tipo torre ou coluna de pulverização axial e spray, e apresentam várias vantagens: não são fontes secundárias de pó, requerem pouco espaço, coletam partículas e substâncias gasosas, operam com altas temperaturas e elevados teores de humidade, baixo custo de operação e alta eficiência na remoção de partículas. Contudo podem contaminar águas, alto custo de remoção de partículas finas com eficiência, problemas com corrosão, alto consumo de água (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

Lavadores tipo coluna ou torre são relativamente baratos, bons para captar partículas e gases poluentes, ocupam áreas pequenas, quando construídos com reforço de fibra de vidro podem operar em ambientes altamente corrosivos. Contudo originam efluentes líquidos, os resíduos coletados são húmidos e há risco de entupimento, fibra de vidro promove sensibilidade à temperatura e custos elevados de manutenção (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). **Lavadores tipo Venturi** removem materiais particulados dos gases de combustão por impacto e onde os poluentes são transferidos para a água. Apresentam alta eficiência de remoção, operação em meio húmido. Contudo consomem muita energia e originam efluentes líquidos (Thomé-Kormiensky, 1994; Cap.9).

Esta fase comporta os seguintes equipamentos: Ciclone de pré-separação de partículas e poeiras (opcional apenas se conjugado com o filtro de mangas); Spray dryer (opcional, combinado com filtro de mangas); filtro de mangas ou filtro eletrostático; lavadores de HCl e SO₂; sistema de doseamento de carvão ativado; silo para recolha de cinzas e substâncias tóxicas e sistema de recolha de águas residuais (Wessely, 2012)

FASE HÍBRIDA

Esta fase consiste na combinação de um processo de absorção a seco com a fase semi-húmida seca condicionada seguida da fase húmida. É caracterizada pelo baixo consumo de absorventes ao mesmo tempo que assegura os limites mínimos de emissão de poluentes.

Também, opção de estação de tratamento de águas residuais, pode ser omitida se houver evaporação das substâncias voláteis da água para os gases de combustão e os sais da reação forem separados no filtro de mangas. Composta pelos seguintes equipamentos: ciclone para pré-separação de partículas e poeiras; câmara de pulverização dos absorvedores; reator (opcional); filtros de mangas; sistema de doseamento de carvão ativado e silo para recolha dos resíduos e águas residuais (Wessely, 2012).

CATALIZADORES:

Os catalisadores são equipamentos que aumentam ou diminuem a taxa de reação sem, contudo, fazerem parte do processo (Furtado, 2014). Estes são classificados em SCR, Selectiv Catalytic Reduction e SNCR Selectiv Non-Catalytic Reduction.

SCR: Selectiv catalytic reduction, em português, redução catalítica seletiva. Processo que permite a conversão de NO_x , óxidos de azoto em nitrogénio diatómico e água através de catalisadores, os mais comuns, platina (Pt), trióxido de alumínio (Al_2O_3), pentóxido de vanádio (V_2O_5), dióxido de titânio (TiO_2) e trióxido de volfrâmio (WO_3) (Harris *et al.*, 2014). A redução deste composto atinge os 95%, opera a temperaturas 200 a 350°C, tem custos elevados de operação devido ao reaquecimento dos gases e apresenta metodologia mais complexa (Harris *et al.*, 2014; Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). É uma etapa comum em incineradoras de grande porte. É uma prática comum no Japão, onde foi descoberta, em 1972 foi introduzida na Europa na incineradora Spittelau em Viena, Áustria (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). A disposição desta etapa no sistema de limpeza dos gases pode apresentar-se uma de três formas:

- Implementar um catalisador de baixa temperatura na última fase do sistema (Fig. 6.8a)
- Implementar um catalisador de alta temperatura após a lavagem dos gases (Fig. 6.8b)
- Implementar um catalisador de alta temperatura após a etapa de adsorção e filtro de mangas (Fig. 6.8c);

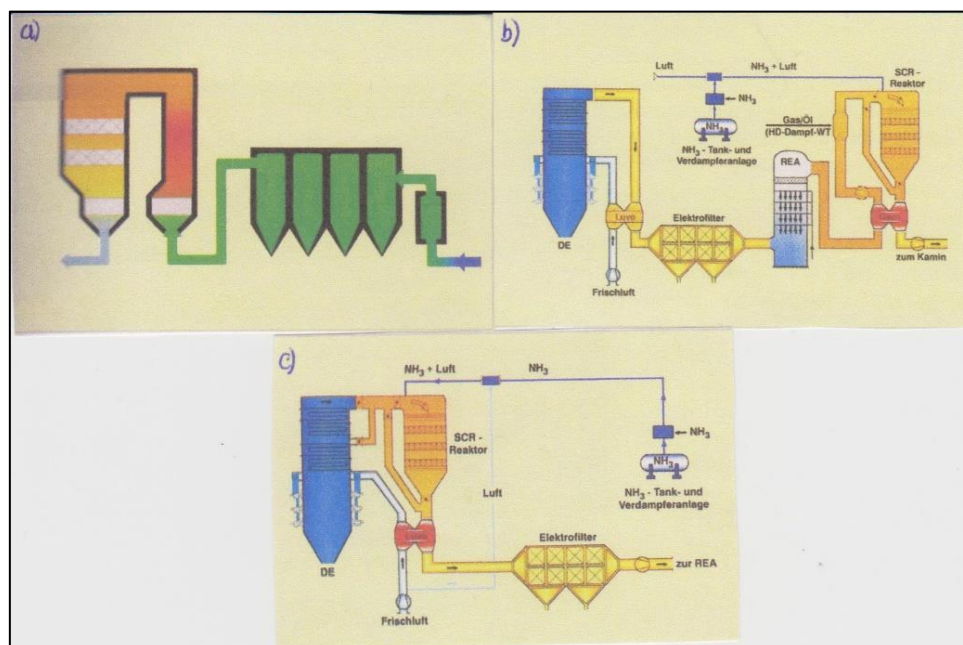


Fig. 6.8: Várias disposições de SCR no sistema de limpeza dos gases (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9)

No caso dos catalisadores de baixa temperatura, operam entre os 165 a 220°C, são sensíveis à variação de SO₂ sendo esta a disposição ideal após o tratamento de enxofre e seus compostos (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). Já catalisadores de alta temperatura operam entre os 208 a 350°C e apresentam baixa sensibilidade à concentração de SO₂, podem ser usados na captura de dioxinas e furanos entre outras substâncias orgânicas. Disposição antes do lavador, já que reduz a possibilidade de bloqueamento devido às poeiras e partículas (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9).

SNCR: selectiv Non-Catalytic reduction, em português, redução não catalítica seletiva, processo que consiste na injeção de amónia ou ureia na câmara de combustão onde os gases de combustão estão a temperaturas de 800 a 1100°C, resultando em nitrogénio, dióxido de carbono e água (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9). É um método relativamente simples com baixos custos de operação, mas com eficiência limitada a 60 a 90% (Harris, *et al.*, 2014). Como neste processo a redução de SO_x ocorre só neste intervalo térmico, a injeção de amónia ou ureia ocorre em várias etapas na câmara de combustão (Fig.6.9). Outro parâmetro fundamental é a turbulência, permite garantir a mistura ótima dos gases de combustão com NH₃. Contudo a injeção de amónia é limitada devido às dioxinas e furanos, pois pode agir como agente inibidor destas substâncias (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9) e agir como agente tóxico e corrosivo (Harris *et al.*, 2014).

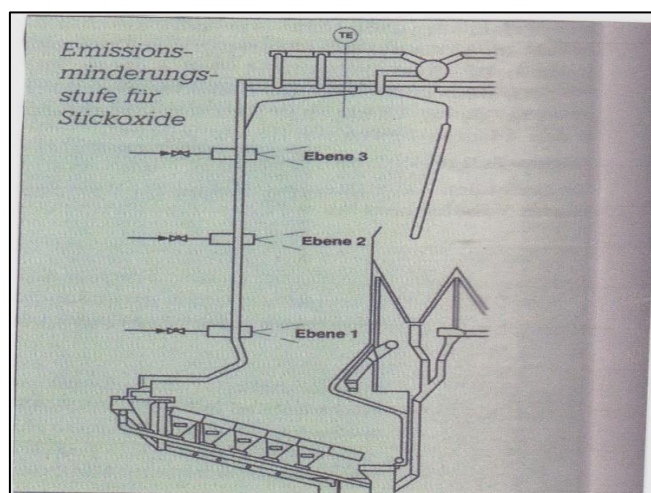


Fig.6.9: Várias fases de injeção de amónia na câmara de combustão (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.9)

6.4.2 ESCÓRIAS

As escórias são produtos resultantes da queima dos resíduos urbanos, provenientes da grelha de combustão. A sua composição é variável, segundo o tipo de resíduos queimados bem como a composição físico-química destes. Contudo existe algumas características comuns que são: forma granulada e cor acinzentada. Após a sua saída da grelha, as escórias passam por uma fase húmida, mergulhada em água a 62°C durante 15 min, com objetivo de arrefecimento (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.10). As escórias podem ser tratadas de duas formas (Meinfelder e Richers, 2008):

- **Tratamento térmico:** a temperatura de 1 300 a 1 500°C ocorre a cristalização das escórias formando um produto vítreo de forma a neutralizar qualquer substância combustível e orgânica. Processos RedMelt e FosMelt;

- **Tratamento químico-mecânico:** existem vários processos, mas o mais comum é a separação de frações ferrosas e não ferrosas e os restantes granulados usados em materiais de construção. Estas são recolhidas num depósito após a queima e posteriormente encaminhadas para um crivo vibrante onde são separadas frações de maiores dimensões, que por sua vez são sujeitos a um campo magnético com o objetivo de separação em compostos ferrosos e não-ferrosos com destino a indústria da reciclagem. Atualmente existem tecnologias em curso que permitem a recuperação de mais materiais metálicos.

Seguidamente são armazenadas durante 3 a 4 semanas, sendo novamente deslocadas para outro armazenamento por um período de 2 a 3 meses. A água contida nas escórias é libertada devido à lixiviação é recolhida e tratada com os efluentes líquidos provenientes do tratamento dos gases. O repouso das escórias pode ocorrer nas instalações das unidades ou em empresas para o efeito (Thomé-Kozmiensky, 1994; Cap.10).

Existem vários estudos na área de valorização das escórias de forma a rentabilizar o processo de incineração e valorizar subprodutos com vista à sustentabilidade ambiental (Dias, 1997). Na maioria dos projetos de valorização das escórias comporta a sua integração na construção rodoviária, com aplicação em parques de estacionamento como subcamadas. Existem outras aplicações como enchimento (aterros, valas, etc.) e como agregado sintético, cimento e produtos betuminosos (Dias, 1997).

6.4.3 CINZAS VOLANTES

Cinzas volantes ou RCP, resíduo oriundo do controlo de poluição, é um subproduto resultante da incineração, proveniente do tratamento dos gases de combustão, da caldeira e do economizador e considerado um resíduo perigoso. Podem ser tratadas de três formas (Fig. 6.10) (Quina, 2005):

Separação:

- Lavagem – remoção de sais solúveis por meio de água, funcionando como lixiviação evitando a remoção de metais tóxicos. Este processo permite, numa fase posterior, a recuperação dos sais, contudo pode ocorrer a remoção de metais pesados;
- Lixiviação – processo semelhante ao da lavagem, mas o líquido de extração é condicionado de forma a garantir a remoção de determinadas substâncias. O condicionamento pode ser feito através do pH, o que permite precipitações seletivas;
- Processo eletroquímico – processo de remoção através de reações oxidação-redução com interface elétrodos e eletrólitos. Neste processo não há necessidade de adição de aditivos químicos, mas a baixa concentração de substâncias pode condicionar a sua remoção.
- Pirólise, floculação/filtração, permuta iónica e cristalização/evaporação;

Térmicos:

- Vitrificação – fundir o material em conjunto com aditivos (precursores vítreos) a temperaturas de 1100 a 1500°C;
- Sintetização – processo térmico, 900 a 1100°, que reconfigura as partículas sólidas obtendo-se substâncias mais coesas e densas e fusão. Deste processo obtém-se agregados, materiais de construção. Maior solubilidade de Cr pode ser um problema;

- Fusão – fusão de material sem uso de aditivos, obtendo-se materiais pouco homogêneos. A destruição de dioxinas e furanos é elevada. Já os metais voláteis são concentrados em cinzas volantes. Estes materiais podem ser usados em pavimentos.

Solidificação/estabilização:

- Com aditivos – transformar os contaminantes em formas de baixa solubilidade e menos tóxicas. Pode ocorrer solidificação ou não;
- Solidificação com ligantes – processo com ligantes (cimento Portland) obtendo-se substâncias sólidas (monolíticos);
- Estabilização química e solidificação com ligantes – processo químico de estabilização seguido de solidificação.

Além dos processos anteriormente descritos é possível combiná-los entre si e obter um processo mais eficaz e eficiente, nomeadamente: estabilização e térmico; separação e cimento Portland; separação, estabilização, térmicos e solidificação; separação, estabilização e térmico; estabilização e térmico (Quina, 2005).

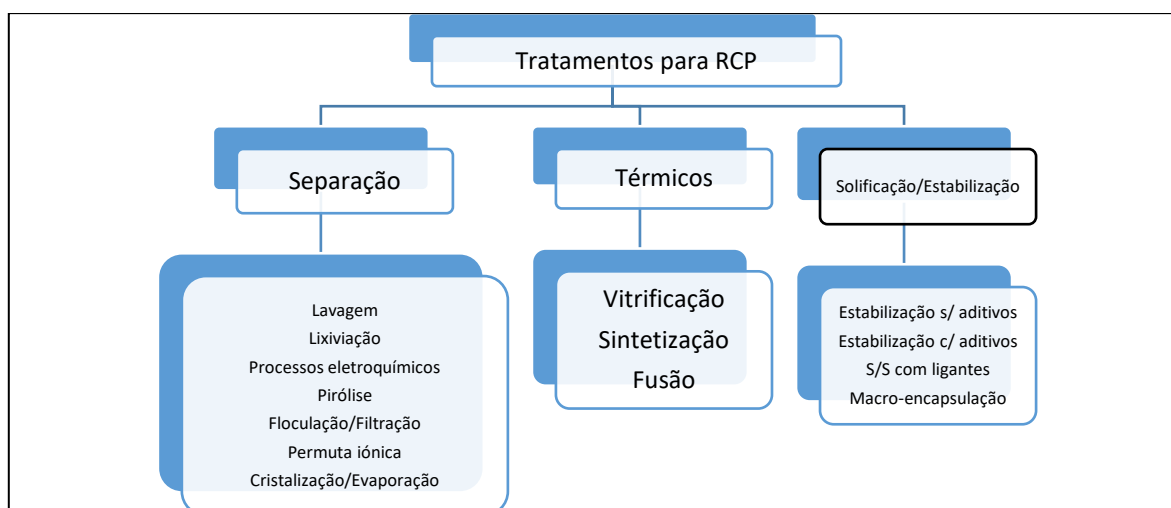


Fig. 6.10: Tipos de Tratamento de RCP (Quina, 2005)

6.4.4 TRATAMENTO DA ÁGUA PARA CALDEIRA

A água para a caldeira deve ser submetida a um tratamento de forma a assegurar a salubridade do sistema e dos equipamentos. O tratamento consiste na remoção parcial ou total dos iões de cálcio e magnésio num processo designado por abrandamento da água, injetando óxido de cálcio e carbonato de sódio de forma a precipitar estes iões e removê-los antes da entrada da água na caldeira. Os principais parâmetros que influenciam o tratamento da água são a dureza e pH, para tal é necessário, nas etapas de tratamento da água a redução da dureza e alcalinidade, controle do pH, redução da quantidade de O₂ dissolvido – desgaseificação (Thomé-Kozmiensky, 1994. Cap.10). Pode-se também utilizar resinas de troca iónica, sobretudo para reduzir a concentração de iões de cálcio e magnésio. Estes metais alcalino-terrosos podem causar problemas de incrustações e insolubilidade a longo prazo, formando precipitados de carbonato de cálcio e de magnésio. Tipicamente uma resina catiónica fortemente ácida (SAC) é usada e regenerada com cloreto de sódio (salmoura). Nos casos de níveis altos de cálcio ou magnésio a resina SAC é por vezes precedida por uma resina catiónica fracamente ácida (WAC) (Purolite, 2019).

7. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

7.1 TERMODINÂMICA: CONCEITOS GERAIS E INCINERAÇÃO

Energia é um termo abstrato e, contudo, muito usado na linguagem corrente, embora a sua definição em termos científicos tenha uma conotação bem diferente. Energia define-se como a capacidade de realizar trabalho (Chang, 2010) e ao contrário da matéria não se vê, não se pesa, nem se toca apenas se sente os seus efeitos. Trabalho é definido como a variação de energia resultante diretamente de um processo (Chang, 2010). Existem diversas formas de energia: radiante, cinética, térmica, potencial e química. Segunda a Lei da Conservação da Energia esta não pode ser destruída nem criada, ou seja, se uma forma de energia desaparece outra forma com igual grandeza deverá surgir (Chang, 2010).

As incineradoras são instalações onde ocorre a combustão de resíduos urbanos, em condições controladas, e o calor gerado neste processo contido nos gases de combustão e no interior do forno, é transferido para superfícies que, no seu interior contêm água, que é convertida a vapor e posteriormente encaminhado para a turbina a vapor, acoplada a um gerador que produz energia elétrica. A combustão é definida como uma reação química exotérmica de oxidação-redução entre dois componentes o combustível e o comburente e que liberta calor (Paschotta, 2017). A relevância deste processo deve-se ao facto de ser o principal processo de obtenção de energia, através da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (Costa e Coelho, 2007), ocorre a oxidação do combustível por ação do O₂ resultando calor e outros produtos. O calor libertado durante a combustão é convertido em outras formas de energia (Coelho e Costa, 2007), nomeadamente elétrica. A área que estuda calor e a sua interação com os diversos sistemas é a Termodinâmica em específico a termoquímica. A termodinâmica estuda a interconversão de calor em outras formas de energia e a termoquímica estuda as variações de calor que ocorrem nas reações químicas (Chang, 2010).

Para que a queima ou processo de combustão decorra de forma eficaz e eficiente é necessário determinar e caracterizar os resíduos a queimar. Para tal existem alguns critérios fundamentais e determinantes tais como: **composição**, caracterização físico-química (orgânicos, plásticos, metais, vidro, papel, cartão); **humidade**, quantidade de água presente por unidade de massa, por kg de resíduo. Esta propriedade interfere diretamente no rendimento da reação, reduzindo a quantidade de energia disponível (Casian, 2013); **massa volúmica**, massa de resíduos por unidade de volume, interfere diretamente com a capacidade total de queima da incineradora; **poder calorífico**, ou PC, conteúdo energético dos resíduos, quantidade em Joule de energia libertada por cada kg de resíduos e interfere diretamente com o rendimento energético do processo e logo com a quantidade de energia elétrica produzida. Deste último distingue-se em **poder calorífico superior (PCS)** definido como o calor libertado durante a combustão completa de 1Kg de resíduos, e **poder calorífico inferior (PCI)** definido como o calor latente da vaporização menos o PCS (Casian, 2013), é uma propriedade fundamental no processo de combustão e obtêm-se através da equação [7.1]:

$$PCI = \frac{\sum W_{iR} PCI}{\sum W_{iR}}, \text{ em J/kg.K.} \quad [7.1]$$

Os valores são na sua maioria tabelados, por exemplo o da água é 4180 J/kg.K.

Outro componente que interfere diretamente com a eficiência e rendimento da combustão é o ar introduzido no sistema. Na incineração delicada é recorrente ar primário, que cria uma corrente de ar ascendente na parte inferior da grelha e dos resíduos de forma a queimar o

CO₂ e o ar secundário introduzido na parte superior da grelha e dos resíduos cria uma corrente descendente de forma a queimar os componentes voláteis (Coelho e Costa, 2007). Nestas condições, a quantidade de ar introduzida no processo determina a taxa de combustão (Coelho e Costa, 2007) e por esta razão é importante determinar as suas características como composição molar seca Y_{iA} e a razão mássica de vapor W_{VA} (Casian, 2013). Tendo em conta que o ar utilizado é ar atmosférico a sua composição molar é conhecida e é de 21 O₂:78 N₂, ou seja, $Y_{O_2}=0.21$ e $Y_{N_2}= 0.78$ para determinada temperatura e humidade relativa e onde a massa molar do ar atmosférico seco é determinada pela expressão [7.2]:

$$M_A = \sum y_{iA} M_i = 28.96 \quad [7.2]$$

Para efeitos de incineração, a razão mássica de vapor W_{VA} é desprezada, partindo do princípio, que o ar de combustão é seco (Casian, 2013).

Estes parâmetros interferem diretamente com o rendimento da reação de combustão e logo com o balanço energético do processo. No balanço energético é aplicado a Primeira Lei da Termodinâmica ou a Lei da Conservação da Energia, que prevê que a energia poder ser convertida em outra formas de energia, mas não pode ser criada ou destruída (Chang, 2010), onde:

$$\Delta E = E_f - E_i \quad [7.3],$$

sendo E_f e E_i a energia final e energia inicial do sistema respetivamente. De salientar que a energia interna de um sistema é composta por energia cinética, referente ao movimento molecular e ao movimento dos eletrões no interior das moléculas, e energia potencial referente à atração e repulsão entre eletrões e núcleo na molécula e entre moléculas (Chang, 2010). Para determinar o balanço energético, a função termodinâmica apropriada é a **Entalpia (H)** (Casian, 2013; Chang, 2010), e é dada por [7.4] e [7.5]:

$$\Delta H = H_{produtos} - H_{reagentes} \quad [7.4] \text{ equação geral onde}$$

$$\Delta H_{reagentes} = \Delta H_{produtos} + \Delta H_{\text{útil}} + \Delta H_{\text{dissipado}} \quad [7.5]$$

$\Delta H_{reagentes}$ é o conjunto do calor sensível (ΔH_S), do calor latente (ΔH_L) e do calor de reação química (ΔH_r) que é dado pela equação [7.6]:

$$\Delta H_{reagentes} = \Delta H_S + \Delta H_L + \Delta H_r \quad [7.6]$$

O calor sensível corresponde à energia transportada pelos resíduos e pelo ar, dado pela equação [7.7]:

$$\Delta H_S = [C_{pR} + W_w C_{pw}] (T_{final} - T_{inicial}) + W_{AR} [C_{pA} + W_{VA} C_{p\acute{a}gua}] (T_{final} - T_{inicial}) \quad [7.7].$$

O calor latente obtém-se da equação:

$$\Delta H_L = W_{WR} h_{wv,T0} \quad [7.8].$$

E o calor de reação é o poder calorífico, dado pela equação [7.9]:

$$\Delta H_r = PCI_{R,T0} \quad [7.9]$$

$\Delta H_{\text{útil}}$ é a quantidade de energia útil proveniente dos gases de combustão convertida em calor e transferido pelos permutadores;

$\Delta H_{\text{dissipado}}$ é a quantidade de calor que é dissipado, por convecção, radiação e por condução à superfície da incineradora. O fluxo de calor dissipado varia consoante as condições de isolamento do forno e caldeira;

$\Delta H_{\text{produtos}}$ é o conjunto energia sensível contida nos gases de combustão (ΔH_s), energia latente (ΔH_L) e calor de reação contido nas cinzas e escórias (ΔH_r), traduzindo-se na equação [7.10]:

$$\Delta H_{\text{produtos}} = \Delta H_s + \Delta H_L + \Delta H_r \quad [7.10]$$

O ΔH_L deverá ser nulo de forma a evitar fenómenos de condensação no interior do forno e caldeira, perigo de corrosão das tubagens e refratários (Casian, 2013).

Tendo em conta que na incineração de resíduos ocorrem alterações na energia térmica, isto é, há energia transferida durante o processo designado por calor (Q) definido como a energia transferida de um sistema para a vizinhança e da vizinhança para o sistema (Halliday, Resnick e Walker, 2009). A absorção de calor, no caso concreto por um líquido, a água, é dada por C , a capacidade térmica ou calorífica, definida como a constante de proporcionalidade entre o calor recebido ou cedido pela água e a variação de temperatura, ou seja, a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de uma determinada quantidade de uma determinada substância dado pela equação [7.11]:

$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i), \text{ em J/kg.K} \quad [7.11]$$

Calor específico c de uma substância é a quantidade de calor necessária para aumentar em 1°C a temperatura de um grama da substância e é dado pela equação [7.12] (Chang, 2010):

$$Q = cm\Delta T = cm(T_f - T_i) \quad [7.12]$$

onde Q é o calor recebido ou cedido e C capacidade térmica em Joule/Kelvin. No caso concreto da água o calor específico é 4190 J/kg.K (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

No processo de incineração a água passa do estado líquido para estado gasoso pois absorve calor libertado pela combustão dos resíduos num processo designado por calor de transformação e no caso específico de calor de vaporização, dado por [7.13]:

$$Q = L_v \cdot m, \text{ em Kj/kg} \quad [7.13]$$

onde o calor de vaporização da água é 2253 Kj/kg (Casian, 2013). Aquando da queima dos resíduos na câmara de combustão, os gases de combustão resultantes deslocam-se ao longo desta aquecendo as tubagens da caldeira que contêm água transformando-a em vapor. A transferência de calor ocorre por condução, convecção e radiação. A **Condução** é a transferência de calor de uma superfície para outra, designada por condutividade térmica e é dado pela equação [7.14]:

$$P_{\text{cond}} = \frac{Q}{t} = KA \frac{T_Q - T_F}{L} \quad [7.14]$$

onde K é a condutividade térmica, A é a área de superfície, L é a espessura, T_Q é a temperatura da superfície quente e T_F é a temperatura da superfície fria (Halliday, Resnick e Walker, 2009). A **Convecção** é a transferência de energia cinética do fluido (água) devido ao diferencial de temperatura (Halliday, Resnick e walker, 2009).

E a **Radiação** é a transferência de energia através das ondas eletromagnéticas, radiação térmica. É dado pela equação [7.15]:

$$P_{rad} = \sigma \epsilon AT^4 \quad [7.15],$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann $5.7704 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, ϵ é a capacidade de emissão da superfície do objeto, A é a área da superfície em m^2 e T é a temperatura da superfície em Kelvin (Halliday, Resnick e Walker, 2009).

Atrás descrito estão os principais critérios base de estudo para avaliar balanço energético e mássico a nível de resíduos e superfícies. Contudo numa avaliação mais completa e abrangente dos processos são necessárias ferramentas que determinem os melhores rendimentos do processo de incineração. Basicamente aquando do processo de vaporização, a transferência de calor em condições isobáricas e compressão/extensão em condições isentrópica é dada pelo **Ciclo de Rankine** (Cerbe e Wilhelms, 2013, Cap.5; von Bückh e Stripf, 2015, Cap. 7). Na Fig.7.1, apresenta-se o esquema do Ciclo de Rankine, através da expansão, o vapor produz trabalho na turbina (4), consome trabalho quando comprimido nas bombas (1), recebe calor na zona da caldeira e superaquecedores (2) e cede calor no condensador (3). Na Fig.7.2 apresenta o gráfico do diferencial de temperatura durante o ciclo do vapor.

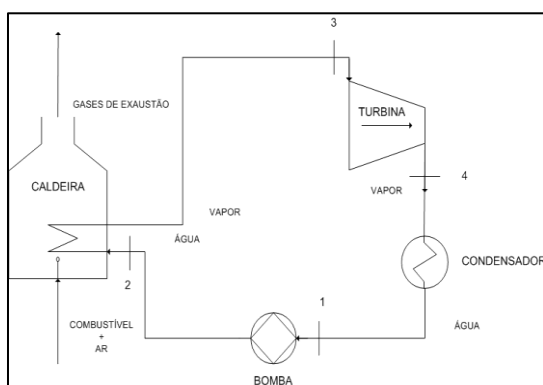


Fig.7.1: Esquema do Ciclo de Rankine (Lima, 2015)

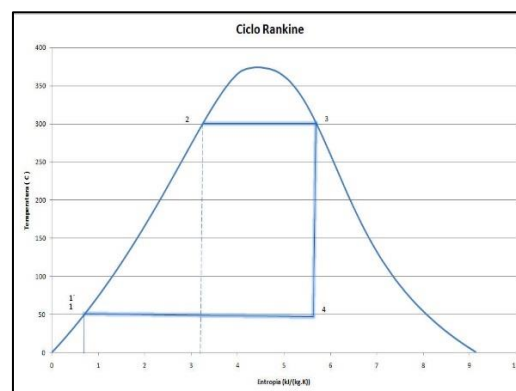


Fig.7.2: Esquema gráfico do Ciclo de Rankine (Lima, 2015)

Como atrás referido este ciclo baseia-se em 4 etapas termodinâmicas reversíveis (Cerbe e Wilhelms, 2013, Cap.5; von Bückh e Stripf, 2015, Cap. 7):

- Compressão isentrópica ou adiabática reversível na bomba (1 a 2);
- Aquecimento da água a vapor a pressão constante na caldeira ou transferência de calor isobárica na caldeira e superaquecedor da água para vapor (2 a 3);
- Expansão isentrópica reversível na turbina (3 a 4);
- Condensação isobárica do vapor no condensador (4 a 1).

Os principais componentes no Ciclo de Rankine são bomba, caldeira, turbina a vapor e condensador.

Bomba aqui a água é bombeada no ciclo até à caldeira, o que aumenta a sua pressão. A compressão no interior da bomba é isentrópica, logo requer menor trabalho (Casian, 2013) e é dada pela equação [7.16]:

$$W_B = m (h_{4s} - h_3) = mv(P_{4s} - P_3) \quad [7.16]$$

Caldeira aqui existe um conjunto de permutadores de calor e diversas tubagens que contêm água no seu interior. Nos permutadores ocorre a transferência de calor entre gases de combustão que são arrefecidos, e a água no interior das tubagens, é aquecida, de forma a

alimentar o circuito vapor/água. A água e os gases circulam em contra-corrente no primeiro permutador ou economizador, aqui há aumento de temperatura até ponto de ebulição, no segundo permutador, ebulidor, a água é evaporada em contacto com os gases de combustão a temperatura intermédia, e o terceiro permutador, superaquecedor, a água/vapor está em contacto com os gases de combustão provenientes diretamente da queima dos resíduos logo temperaturas mais elevadas, completando o ciclo de vaporização (Casian, 2013). Os valores de rendimento da caldeira estão diretamente relacionados com os valores de temperatura dos gases de combustão, ou seja, quanto menor for a temperatura dos gases de combustão à saída dos permutadores, maior rendimento terá a caldeira (Casian, 2013). O balanço energético da caldeira é dado pela equação [7.17]:

$$Q_{adm} = m(h_1 - h_4) \quad [7.17]$$

onde Q_{adm} é a potência térmica da caldeira.

Turbina a Vapor, aqui o trabalho expansivo do vapor é convertido em energia mecânica. Para maior eficiência deste equipamento é composta por diversas zonas de extração: alta pressão (AP), média pressão (MP) e baixa pressão (BP). No seu interior, o vapor injetado aciona as palhetas que aciona o movimento da turbina. Durante este processo o vapor perde pressão e temperatura pois expandiu. O rendimento da turbina é dado pela equação [7.18]:

$$\eta_T = \frac{\dot{W}_{T,real}}{\dot{W}_{T,ideal}} = \frac{\dot{m} (h_1 - h_2)}{\dot{m} (h_1 - h_{2s})} \quad [7.18]$$

η_T é o rendimento da turbina; $\dot{W}_{T,real}$ é o trabalho de eixo produzido na turbina em condições reais; $\dot{W}_{T,ideal}$ é o trabalho de eixo produzido na turbina em condições ideais; h_1 é a entalpia específica das correntes de entrada; h_2 é a entalpia específica das correntes de saída (Casian, 2013).

Condensador, aqui o vapor é condensado após ter realizado trabalho na turbina, convertendo-se em água e libertando para o ambiente qualquer energia contida, arrefecendo. O balanço energético do condensador é dado pela equação [7.19], (Casian, 2013; Cerbe e Wilhelms, 2013, Cap. 5; von Bückh e Stripf, 2015, Cap. 7):

$$\dot{Q}_{sai} = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad [7.19]$$

O recurso ao Ciclo de Rankine em processos de combustão com recuperação energética deve-se a alguns fatores: a dissipação ou perda de calor ser muito baixa, quase inexistente, as alterações nos valores de energia cinética e potencial poderem ser desprezados, a expansão na turbina e compressão na bomba ocorrem em condições adiabáticas e isentrópicas e as transferências de calor e arrefecimento decorrem em condições isobáricas (von Bückh e Stripf, 2015, Cap. 7).

O rendimento térmico de Rankine é dado por [7.20]:

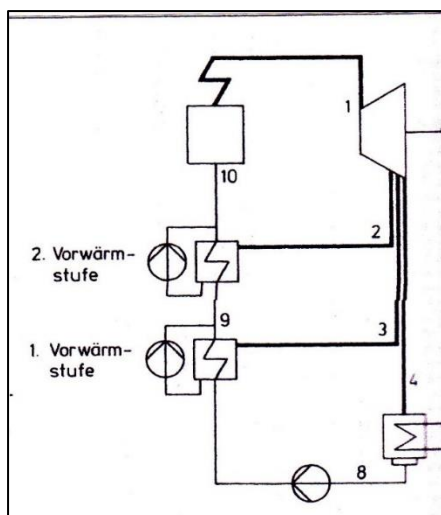
$$\eta = \frac{W_{liq}}{q_H} = \frac{q_H - |q_L|}{q_H} = \frac{W_t - |W_b|}{q_H} \quad [7.20],$$

onde W_{liq} é o trabalho líquido executado, q_H é o calor fornecido ao sistema, q_L é o calor retirado do sistema, W_t é trabalho realizado pela turbina e W_b é o trabalho realizado pela bomba (Lima, 2015).

O aumento do rendimento deste ciclo reflete no aumento de produção de eletricidade e calor o que traduz poupanças energéticas e aumento de eficiência da produção. Para efeito de

aumento de rendimento do Ciclo de Rankine, já que este apresenta baixo rendimento comparativamente a outros ciclos, existem algumas melhorias que podem ser aplicadas em termos de processo (Cerbe e Wilhelms, 2013, Cap.5; von Bückh e Stripf, 2015, Cap. 7):

- **Turbina/Condensador:** diminuir a pressão do condensador o mais possível, automaticamente diminui a temperatura do vapor. Contudo é necessário cuidado, demasiada baixa pressão aumenta a formação de condensados na turbina, sobretudo na turbina de baixa pressão, provocando efeito de corrosão nas palhetas e reduzindo o seu tempo de vida;
- **Cogeração energia-calor:** extração do vapor após expansão na turbina para aquecimento de processo ou para aquecimento de rede. Exemplos de aquecimento no processo: aquecimento da água de alimentação da caldeira reduzindo o diferencial de temperatura e aumentando o tempo de vida da caldeira. A água de alimentação à saída da bomba é aquecida pelo vapor extraído da turbina com recurso a aquecedores de água de alimentação (Casian, 2013);
- **Uso de vapor acima da pressão crítica:** aumento da temperatura ou da pressão à entrada da turbina. Este método permite aumentar o rendimento do Ciclo de Rankine e garante durabilidade dos materiais
- **Reaquecimento do vapor:** após a expansão do vapor na turbina, extrair e reaquecer este na caldeira a pressão consoante e à temperatura de entrada deste na turbina (Casian, 2013). Aqui o vapor fornecido à caldeira é sobreaquecido, mas a pressão constante. Opção limitada devido a propriedades dos materiais e equipamentos (Fig.7.3)
- **Aumento da pressão de serviço da caldeira:** aumento da pressão à entrada da caldeira, aumenta a temperatura da ebulição (vaporização), que interfere diretamente com a transferência de calor ao vapor de água aumentando o rendimento térmico do ciclo.



- 1- Entrada de Vapor AP
- 2- Saída de vapor da primeira extração e entrada no permutador 2 (2. Vorwärmstufe)
- 3- Saída de vapor da segunda extração e entrada no permutador 1 (1. Vorwärmstufe)
- 4- Saída de vapor da terceira extração entrada no condensador.

Fig.7.3: Esquema de reaquecimento de vapor (Cerbe e Wilhelms, 2013, Cap.5)

7.2 CALOR: AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

A energia elétrica produzida nas incineradoras é usada para suprimir o consumo interno e o excedente é vendido na rede. Este cenário é o mais comum e se não houver outra rentabilidade é o desejável.

Existe outro cenário, que em conjunto com a produção elétrica dá mais rentabilidade à incineradora, explorar o calor produzido na reação de combustão-cogeração. Mas esta operação requer mercado e requer infraestruturas de forma a canalizar o calor. Devido ao facto de o calor poder ser aproveitado de duas formas e essas apresentarem-se como alternativa para as incineradoras em estudo é conveniente explorar como estas alternativas funcionam. O uso de calor proveniente das incineradoras para processos industriais e aquecimento é prática comum no Norte e Centro da Europa. Na maioria das situações o calor é transportado pela água aquecida num sistema de tubagens subterrâneas até aos locais onde há necessidade de calor. Numa estação de transferência o calor é transferido através de um permutador de calor para o circuito de aquecimento central do edifício e a água arrefecida flui no circuito de volta para a incineradora. Na unidade de transferência para além do permutador existe um medidor com a função de medir a quantidade de calor recebido para fins de faturação (Paschotta, 2018).

Nestas condições a água tem uma temperatura de 80 a 130°C e o seu retorno deverá ser com a temperatura mais baixa possível (Paschotta, 2018), pois maximiza a quantidade de calor transferido. No caso das incineradoras que vendem calor para aquecimento a temperatura da água deverá estar acima dos 100°C e embora se considere a baixa na produção energética, pois o vapor é desviado da turbina diminuindo a quantidade de energia elétrica produzida e as perdas de calor que ocorrem inexoravelmente na rede de tubagens, a eficiência energética é relativamente alta na ordem dos 85 a 90% e os ganhos refletidos da venda de energia térmica são consideráveis (Paschotta, 2018). O calor pode ser conduzido para a indústria (refinarias, alimentar, metalúrgica, química) onde os processos requerem calor, contudo, neste caso o ideal é a construção da incineradora nas imediações dos parques industriais. Desta forma reduz-se os gastos com linhas de rede longas e as perdas de calor.

No caso das indústrias, o uso de energia térmica é regular durante todo o ano sendo uma boa possibilidade, mas quando a procura é sazonal levanta problemas. Uma provável solução para contornar este problema é o uso de energia térmica para aquecimento e arrefecimento recorrendo ao processo de refrigeração por absorção.

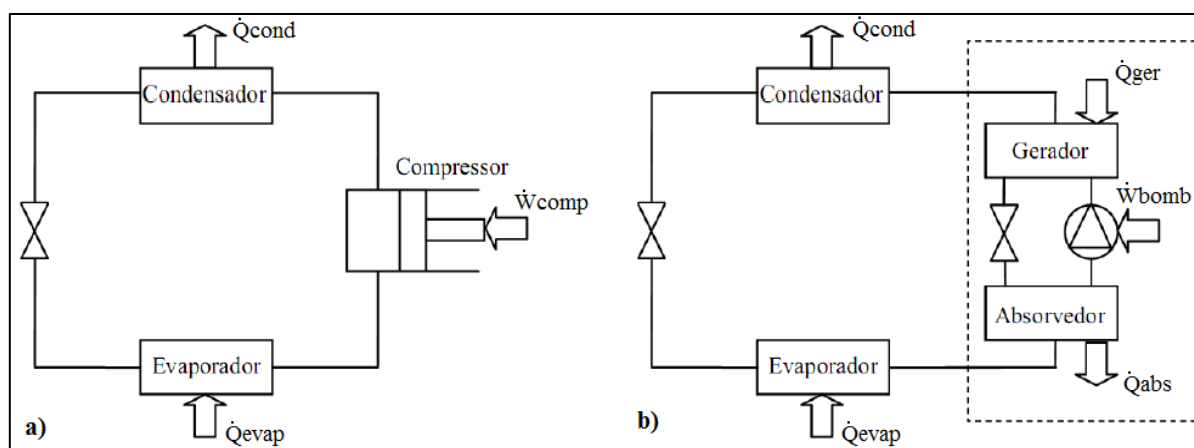


Fig. 7.4: Diagrama de um sistema de compressão a vapor (a) e de um sistema de absorção de simples efeito (b) (Neto, 2016)

Este método de refrigeração (Fig.7.4) difere dos tradicionais sistemas de compressão como frigoríficos, o sistema de refrigeração por compressão do vapor usa energia elétrica e o sistema de refrigeração por absorção usa energia térmica. Este último pode ser subdividido em absorção e adsorção que em termos energéticos são idênticos, contudo, os sistemas de refrigeração por adsorção são mais onerosos e de volume considerável (da Silva, 2016). Por esta razão só será abordado o sistema de refrigeração por absorção.

Os sistemas de refrigeração por absorção são também designados por “Chillers” de absorção e os que usam o par $H_2O/LiBr$ apresentam custos e manutenção mais atrativos (da Silva, 2016). Em 1755, William Cullen iniciou a tecnologia de arrefecimento por absorção com recurso a éter a baixa pressão obtendo gelo (da Silva, 2016). Já em 1823, Michael Faraday conseguiu resfriar usando gás de amónia, técnica mais tarde desenvolvida por Ferdinand Carré (da Silva, 2016). Em 1850 Edmond Carré desenvolveu o primeiro sistema a operar num ciclo de absorção usando o par H_2O/H_2SO_4 e em 1859 Ferdinand Carré (irmão de Edmond Carré), patenteou o primeiro sistema a operar num ciclo de absorção usando o par H_2O/NH_3 (H_2O funciona como absorvente). Willis Carrier desenvolveu a refrigeração usando o par $H_2O/LiBr$ contribuindo para a introdução e desenvolvimento desta tecnologia (da Silva, 2016). Em 1960, toda a produção mundial destes equipamentos pertencia ao mercado dos Estados Unidos com o par $H_2O/LiBr$ e em 1970 a empresa Trane Company iniciou a produção de “chillers” de duplo efeito com recurso a vapor (Neto, 2016; Foley *et al.*, 2000). Atualmente os pares mais comuns são pares $H_2O/LiBr$ e H_2O/NH_3 , pois estes pares de trabalho apresentam propriedades químicas e termodinâmicas ideais e ausência de impactos ambientais. Na escolha dos pares existem alguns critérios importantes (Neto, 2016):

- Não cristalização de substâncias que podem provocar danos nos equipamentos e dificultar o escoamento do circuito;
- Volatilidade, o refrigerante deve ser mais volátil que o absorvente de forma a reverter o processo (haja separação dos dois componentes);
- Afinidade, deve existir grande afinidade entre refrigerante e absorvente;
- Pressão, média para o funcionamento, altas e baixas pressões requerem adaptações dos equipamentos aumentando os custos;
- Estabilidade e compatibilidade química entre refrigerante e absorvente evitando a corrosão e formação de substâncias nocivas;
- Propriedades de transporte, baixa viscosidade, baixa tensão superficial e baixa difusividade térmica e mássica;
- Calor latente, valores elevados para o refrigerante.

No caso específico do vapor proveniente das incineradoras, o par mais apropriado é H_2O/NH_3 , pois apresentam ótimas condições para trabalhar a temperaturas de 125 a 170°C (Neto, 2016). O processo de absorção consiste em retirar calor do vapor recorrendo a um absorvente no estado líquido que absorve o vapor da água, fluído primário ou refrigerante (Neto, 2016) dando-se o arrefecimento evaporativo. É um processo reversível logo reutilizado inúmeras vezes em ciclo.

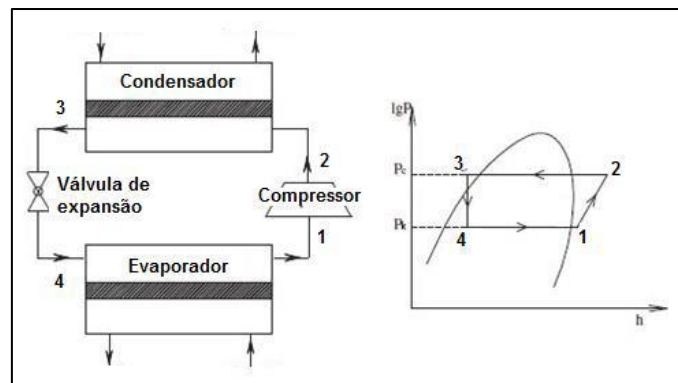


Fig.7.5: Diagrama do ciclo de compressão a vapor (Pousinha, 2014)

Este sistema é composto por (da Silva, 2016; Pousinha, 2014):

- **Condensador:** provoca condensação da mistura e perda de calor a pressão constante;
- **Válvula de expansão:** diminui a pressão do fluxo refrigerante e a pressão entre o evaporador e o condensador
- **Evaporador:** ocorre a refrigeração entre o refrigerante e o vapor de água, onde o refrigerante absorve calor passando do estado líquido para gasoso (vapor) e promove o arrefecimento do ar ou água;
- **Compressor Térmico:** segue o evaporador, dá-se o aumento de pressão da mistura.

Este processo ocorre numa operação com dois níveis de pressão estabelecidos por temperatura de evaporação (T_E) e temperatura de condução (T_c) (Pousinha, 2014), ativados por uma fonte de calor (Neto, 2016), o vapor proveniente da incineradora. O absorvente absorve o refrigerante (ex. amónia) em condições de vapor de baixa pressão no evaporador (Fig.7.5 - 1). Esta mistura é pressurizada num compressor (Fig.7.5 - 2) para aumentar a pressão da mistura entrando no condensador onde perde calor a pressão constante (Fig.7.5 - 3). O refrigerante é encaminhado para a válvula de expansão e perde pressão (Fig.7.5 - 4) (Neto, 2016; Pousinha, 2014). No caso deste sistema ser para o arrefecimento do ar é necessário um sistema de ventilação para que este possa circular (Pousinha, 2014).

Existem vantagens neste sistema como baixo consumo de energia para pressurizar a substância a refrigerante; é possível alterar a fonte térmica externa; não necessita de uma subestação elétrica nem para as instalações de grande porte; o ruído é reduzido e podem ter vários tamanhos, de pequenos a grandes (Neto, 2016).

7.2 TRATAMENTO DE DADOS

7.2.1 LIPOR II

Da entrevista colocada ao responsável na Lipor, Dr. Abílio, está em anexo 1 e desta obtiveram-se as seguintes informações: **i)** as empresas envolvidas na projeção e construção da Lipor foram CNIM, MRTIN, SIEMENS e ABB, com investimento integralmente público (dos municípios que compõem a Lipor) num valor aproximado 125M€, dos quais 56% foram financiados por fundos europeus; **ii)** dos investimentos feitos em modificações/melhorias ressalva-se as intervenções a nível de otimização do processo de combustão, tratamento de

efluentes gasosos, instrumentação nomeadamente instrumentação BAT (best available techniques) para uma operação mais rigorosa em termos ambientais e em termos de legislação; **iii**) em termos de operacionalidade a incineradora é composta por 45 funcionários onde 16 são de operação formados em equipas de 4 elementos de 8h o turno, 3 administrativos, 20 funcionários de suporte (mecânicos, eletricitas, limpeza, portaria, armazém, instrumentação, etc) e 6 responsáveis técnicos. A formação é obrigatória e constante *on the job* em instalações similares com duração de 6 meses antes de entrar em funções e claro é necessária formação específica; **iv**) as manutenções são realizadas 2x/ano (Primavera e Outono) e a duração das paragens é de 15 dias/linha e 3 dias nas áreas comuns (paragem total das instalações); **v**) no processo de participação da população foi estabelecida uma relação de transparência e proximidade, que ainda se mantém; **vi**) não há a registar ocorrências ambientais danosas e existem propostas de melhoria da unidade provenientes das Auditorias Energéticas independentes, efetuadas a cada 3 anos; **vii**) o sistema de incineração é *mass burning*, a combustão dos resíduos ocorre entre 1000-1200°C (amplitude de temperatura de queima dos resíduos é 850-1250°C) e os resíduos incinerados são urbanos e equiparados, recebidos em regime contínuo (24h) e a fossa tem capacidade de receção de 18 000m³; **viii**) são produzidos anualmente cerca de 180.000 MWh de energia elétrica com autoconsumo de 13% da produção e o gasto médio da instalação é 80 MWh/dia; **ix**) os resíduos têm PCI de 7000Kj/kg e a turbina trabalha a 25MW e pressão a 44bar.

Houve necessidade de outros esclarecimentos: **a**) estrutura designada por Bypass é a abertura da válvula do filtro de mangas (para proteção deste equipamento) que ocorre por temperatura ou pressão elevada; **b**) o ar secundário entra a temperatura ambiente mas pode ser aquecido até 135°C com vapor MP ou AP proveniente do ebulidor; **c**) o isolamento da chaminé é tipo *lã-de-vidro*; **d**) a temperatura na saída da chaminé é de 157°C (mesma que na entrada desta); **e**) a água entra no economizador a 130°C proveniente do desgaseificador; **f**) os NO_x são tratados por injeção de ureia a 46% na câmara de combustão a cerca de 930°C; **g**) no sistema de tratamento de gases não existe catalisador, é um sistema não catalítico.

Foi solicitado outras informações nomeadamente, o *process flow diagram*, *pipping instrumentation diagram*, e o print-scream dos computadores da sala de controlo. Destas informações seria possível o meu co-orientador em conjunto comigo, percebermos em concreto como o sistema está desenhado e a disposição física dos equipamentos, e dos print-scream, das várias etapas do processo seria possível perceber as variações de temperatura e pressão ao longo do processo, nomeadamente as fases do tratamento de gases de combustão.

Numa primeira leitura e análise da Lipor existem pontos que explorados podem apresentar um potencial de eficiência energética. A possível instalação de um economizador externo ocorre, por norma após o sistema caldeira e economizador interno, na saída dos gases de combustão e quando estes entram no sistema de limpeza. Neste sistema de limpeza é preciso perceber como decorre, ou seja, as fases (seca, húmida, semi-húmida) para identificar as zonas de arrefecimento dos efluentes gasosos e verificar se a temperatura a reduzir é suficiente para a instalação deste equipamento.

Como mencionado no capítulo 6.4, na fase semi-húmida, os gases de combustão são injetados com água para otimizar o processo de precipitação de substâncias tóxicas. Nesta etapa existe

a possibilidade de instalação de um economizador externo para, através da permuta de calor entre a água (desgaseificador/condensador) e os gases de combustão, a água aquece e os gases arrefecem reduzindo a quantidade de água injetada na fase semi-húmida. Contudo se neste processo o sistema de filtros de mangas segue a fase semi-húmida os gases têm que ser ligeiramente aquecidos para vaporizar a água de forma a não comprometer a “saúde” dos filtros de manga. Para tal, os print-scream são fundamentais para perceber como as fases estão organizadas e as várias variações de temperatura e pressão.

De uma forma geral os cálculos para avaliar o potencial energético do gás de combustão seria calcular o valor de Q - equação 7.12, para determinar a quantidade de energia, calor, cedida pelos gases ao exterior, para perceber os valores energéticos em causa. Com a instalação de um economizador externo (a ser possível) permitiria reduzir a quantidade de água usada no arrefecimento dos gases e os custos com o tratamento destes (redução do caudal a tratar) e permite otimizar o processo de aquecimento da água antes de esta entrar na caldeira.

Outra possibilidade para o estudo proposto, seria os valores de temperatura na chaminé, aqui os gases têm uma temperatura relativamente elevada. Segundo o Flavio, na Suíça estes valores rondam os 80-100°C logo bem abaixo do valor de 157°C da Lipor (ficou surpreendido). Alegadamente a razão pela qual este valor é tão elevado é por causa dos valores de condensação dos óxidos de enxofre (SO_x) que provocam danos nas paredes da chaminé, nomeadamente a corrosão. Através da folha de cálculo Excel e fazendo as várias conversões para obter valores de concentração em ppm (partes por milhão) (valores fornecidos pela Lipor) e relacionando com a temperatura, isto é, reduzindo os valores de temperatura de 157°C até o valor mais baixo possível até ocorrer a condensação do SO_x , foi possível determinar a possibilidade de reduzir a temperatura dos gases na chaminé até 100°C. Na prática significa uma recuperação de cerca de 50°C, que pode ser usado internamente para aquecimento do ar (primário ou secundário) reduzindo o uso de vapor média pressão (MP) que poderia ser usado na venda de calor. Contudo relativamente à condensação do SO_x é possível, no caso da Lipor, que esta ocorra, dado que no sistema de limpeza de gases de combustão é usado o SNCR, Selectiv Non Catalitic Reduction e por isso não seja possível a redução da temperatura dado o risco de condensação de SO_x e a consequente danificação da chaminé.

7.2.2 VALORSUL

Da entrevista colocada ao responsável na Valorsul, Eng.º Henrique, exemplar em anexo 1, obtive as seguintes informações: **i)** responsáveis pela projeção e construção da unidade foram técnicos admitidos para a Valorsul em conjunto com PROET (empresa de engenharia da EDP) e consórcio construtor Foster Wheeler. A sociedade inicial era composta pela Empresa Geral do Fomento, Parque Expo, EDP e as Câmaras Municipais de Lisboa, de Loures, Amadora e Vila Franca de Xira, constituindo uma entidade pública. Os principais fornecedores foram Foster-Wheeler a caldeira, Dresse-Rand a turbina, Jeumont Industrie o gerador, ABB tratamento de gases de combustão, Ingersol Dresser Pumps (atualmente Flowserve) bombas grandes e KSB as bombas pequenas; **ii)** investimento na incineradora até Dez/2009 foi de 172M€, assegurado por fundos comunitários, do Banco de Investimento Europeu e fundos próprios; **iii)**

investimentos posteriores feitos foram: a requalificação de tubulares na caldeira (painéis de água e sobrequecedores), condensador tubular em titânio, bombas do rio (novas hidráulicas), investimento em variação de velocidade; **iv**) número de funcionário a operar são 5 equipas de 10 pessoas para 3 turnos/dia sendo o número mínimo para operar 7 pessoas, staff da incineradora 8 pessoas, na manutenção são 14 pessoas (5 mecânicos, 3 eletricitas, 2 chefias, 2 funcionários de armazém e 2 gabinete técnico); **v**) existem paragens tipo A (semestrais, a caldeira para 4 a 5 dias/linha e turbo gerador (TG) está em funcionamento), paragens tipo B (18 em 18 meses, caldeiras param sequencialmente durante 3 semanas e o TG para durante 1 semana, num período global de 5 semanas) e paragens tipo C (5 em 5 anos ou quando houver necessidade de realizar); **vi**) formação anual para todos os funcionários, admissão de novos funcionários implica formação no local de trabalho durante 8 meses; **vii**) aceitação da população foi transparente com apresentação do projeto em consulta pública durante um ano e com sessões de esclarecimento/apresentação e em fase de laboração são criados dias de porta aberta com visitas guiadas; **viii**) sem ocorrências ambientais danosas e os projetos de eficiência energética têm sido implementados nomeadamente os variadores de velocidade para grandes motores de baixa e média tensão e em curso projetos de fornecimento de energia térmica; **ix**) sistema de caldeira com painéis tubulares, com passagem de gases, sobreaquecedores primário e secundário, barrilete de vapor e de lamas e um economizador no final; **x**) a incineração dos resíduos ocorre a 1100°C, os resíduos a queimar são urbanos ou equiparados provenientes das Câmaras Municipais e clientes particulares num regime de 24h e a capacidade da fossa é de 13.000m³; **xi**) é apenas produzida energia elétrica, com valores nominais de 45MW, onde a potência da turbina é 50,5 MW, o consumo interno é 5.5MW (consumo das 3 caldeiras). Cada caldeira incinera cerca de 28t/h de resíduos com um PCI de 7820Kj/kg.

Tal como na Lipor a necessidade dos print-scream é pelas mesmas razões. Apesar de alguns diagramas de processo terem sido facultados os poucos dados que estes continham eram insuficientes para poder trabalhar de forma a cumprir com os objetivos traçados.

Relativamente à exploração da possibilidade de redução da temperatura dos gases à saída da chaminé coloca-se um problema semelhante ao da Lipor, o sistema de limpeza de gases é composto por SNCR o que reduz a possibilidade de extração do calor destes devido ao risco de condensação do SO_x comprometendo a integridade da chaminé.

Em relação à possibilidade de um economizador externo, pelas mesmas razões que descritas anteriormente na Lipor, o estudo não foi possível.

8. CONCLUSÕES

Este relatório foi elaborado com o objetivo de acompanhar um projeto de instalação de um economizador externo para aumento de eficiência de uma incineradora na Suíça e a possibilidade de aumentar a eficiência energética das incineradoras em Portugal Continental. Os objetivos estabelecidos permitiram delinear o trabalho a desenvolver: compreender o processo de incineração, como ocorre, quais os fenómenos que atuam durante a queima dos resíduos e que parâmetros influenciam o processo. Com o levantamento bibliográfico foi possível: **i)** compreender o contexto europeu em matéria de gestão de resíduos, diferentes modelos matemáticos que existem e que permitem aos vários países lidarem com a problemática dos resíduos, as ferramentas que complementam os modelos e que servem também de indicadores que transmitem o desempenho dos SGR implementados e os ajustes aplicáveis de forma a assegurar o melhor desempenho possível; **ii)** compreender o enquadramento legal europeu e de que forma influencia o quadro legal dos Estados-Membro, em alguns países, funcionando como alavanca para impulsionar melhorias a nível de gestão de resíduos (caso de Portugal) e noutros países meras metas ou parâmetros já há muito atingidos (caso da Suíça); **iii)** compreender a complexidade da malha que é um SGR, os vários fatores que influenciam e na maioria dos casos determinam as prioridades, como os fatores económicos, sociais e ambientais, sua interceção e o facto de esta problemática ser transversal a todos os países variando apenas na intensidade do impacto desses fatores; **iv)** compreender o estado geral de Portugal em matéria de resíduos, situação atual, a carência e disponibilidade reduzida de informação sobre os resíduos (fontes de produção caracterização físico-química, entre outros), a polaridade entre o interior e litoral do país, o défice de educação ambiental, o tardio desenvolvimento de estratégias de gestão de resíduos que reflete um atraso de Portugal comparativamente aos países europeus, a heterogeneidade de SGR existentes que agrava a sua eficácia e eficiência; **v)** compreender a organização dos SGR's, sistemas em alta e sistemas em baixa de investimentos públicos, público-privados e privados e que a forma de deposição mais comum é em aterro sanitário; **vi)** compreender o enquadramento legal nacional, a importância dos planos e estratégias nacionais no cumprimento das metas europeias, o fato de as normas nacionais serem transpostas das diretivas europeias de forma assertiva e coerente, mas contudo os mecanismos de aplicação são deficientes no terreno; **vii)** compreender a hierarquia das entidades competentes e as suas respetivas competências; **viii)** compreender que incineração em Portugal não é muito expressiva comparativamente com outros países europeus; **ix)** compreender o contexto da Suíça em relação aos resíduos, valorização e reciclagem, organização dos SGR, deposição final (quase exclusivo incineração), e elevadas taxas de reciclagem; **x)** compreender o enquadramento legal suíço, os valores de reciclagem não são estabelecidos legalmente excetuando as embalagens, mas existe a priorização da valorização e reciclagem, a hierarquia das entidades competentes e embora não sendo um membro da UE a Suíça implementa normas europeias; **xi)** compreender que a incineração é o método de eliminação de resíduos mais expressivo na Suíça e que é amplamente usado desde meados de séc. XX, a taxa de reciclagem é elevada e pode colocar em causa a capacidade das incineradoras, que é colmatada com a importação de resíduos.

Com o estágio foi possível: **i)** compreender a dinâmica inerente a projetos e planeamentos de construção de incineradoras e as várias etapas, desde a elaboração do projeto, à aprovação deste pelas autoridades locais, cantonais e federais (num longo processo de tomada de decisão), passando pela fase de construção civil (gestão da empreitada) e pela escolha e gerência de fornecedores e parceiros para seleção e montagem dos equipamentos a instalar. É um processo muito complexo e denso desde a fase da ideia, ao projeto e à obra final. Na empresa onde estive a fazer o estágio o meu co-orientador Flavio Bettoni tem a competência de gestão do projeto, gere o contacto com os municípios/juntas de freguesia que adjudicam a obra, com as autoridades que aprovam, com os empreiteiros civis, fornecedores e parceiros. Em conjunto com mais dois membros da equipa, um responsável pela parte de desenho e projeção em computador e outro que partilha as competências do Dr. Flavio, realizam todo o trabalho que acompanhei. Desta dinâmica do escritório e das diversas explicações do co-orientador, surgiu a necessidade de perceber os princípios básicos de funcionamento e os detalhes envolventes na complexidade do tratamento térmico de resíduos.

No escritório havia várias publicações sobre incineração e termodinâmica técnica. Em relação à incineração, uma dessas publicações era bastante completa e detalhada, foi sugerida para leitura. Assim foi possível compreender o processo com mais detalhe e profundidade, verificar como as várias fases se influenciam, se intercetam, se caracterizam, como os vários equipamentos e como a sua escolha dos diferentes equipamentos e de opções de projeto afetam todo o processo. Relativamente à termodinâmica técnica foram revistas duas publicações, que permitiram compreender os contornos dos cálculos de eficiência energética, como afetam o ciclo da incineração e os equipamentos nomeadamente a sua durabilidade, destacando-se as características físico-química dos resíduos que são um fator determinante assim como o seu poder calorífico.

Na Suíça todas as incineradoras trabalham em regime de co-geração, ou seja, produzem energia elétrica e vapor, o que permite maior rentabilidade do processo na ordem dos 80%, enquanto que na produção de energia esta é apenas na ordem dos 28 a 33%. Aliás é mais valorizado o calor do que a energia elétrica. Também foi compreendido durante o estágio que o calor, normalmente usado para aquecimento, pode também ser usado como arrefecimento potenciando a sua extração (durante todo o ano) e venda. A construção de incineradoras em zonas industriais sobretudo indústrias que operam em regime contínuo pode ser uma excelente alternativa energética (transição energética), o que também rentabiliza o investimento destas.

O estudo proposto seria avaliar a rentabilidade energética de uma incineradora na Suíça antes e depois da instalação de um economizador externo de forma a reaproveitar algum calor excedente, que não sendo valorizável para venda poderia ser usado internamente no processo aumentando as extrações. Apresentar dados e cálculos não foi possível pois a sua publicação não foi permitida pela entidade responsável da incineradora na Suíça. Contudo é possível concluir que os ganhos face ao investimento são maiores, mas a médio e longo prazo. Este conhecimento foi obtido durante o acompanhamento da instalação de um economizador externo na KVA Buchs.

Relativamente à implementação de processos idênticos às incineradoras nacionais é possível. Contudo, seriam necessários dados e esquemas que não foram facultados porque muitas vezes nem as próprias entidades que exploram estas unidades têm em sua posse toda a documentação. Daí efetuou-se o pedido dos print-scream dos computadores da sala de controlo, das diversas fases do processo. Estes print-scream permitiam uma visão geral do processo, das variações de temperatura e pressão. No entanto, embora não tivesse sido possível calcular ao detalhe, do aplicado na incineradora na Suíça, percebe-se que seria um aumento dos lucros em relação às incineradoras da Lipor e Valorsul, com uma diversificação da sua oferta, onde além da produção de energia poderiam apostar no aproveitamento de vapor a ser utilizado no caso da Lipor no Aeroporto Internacional Francisco Sá Carneiro e no caso da Valorsul na refinaria de açúcar existente nas proximidades.

Queria também salientar que Portugal foi em 2016 o 8º país com maior dependência energética na Europa, bem acima da média europeia UE-28 (DGEG, 2018), e que deve haver uma maior diversificação das fontes de energia e estas serem exploradas na sua máxima eficiência e rentabilidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, A., Tomás, D. (2011). *Levantamento da Situação Atual da Gestão e Tratamento de Resíduos em Portugal*. Relatório para obtenção de Grau de Licenciado em Engenharia do Ambiente. Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda.

Allesch, A., Brunner, P.H. (2015). *Material Flow Analysis as a Decision Support Tool for Waste Management-A Literature Review*. Journal of Industrial Ecology – Research and Analysis. Volume 19, Número 5:753-764.

Beigl, P., Lebersorger, S., Salhofer, S. (2008). *Modelling Municipal Solid Waste Generation: A Review*. Elsevier Journal – Waste Management. Volume 28: 200-214-

Boesch, M.E., Vadendo, C., Saner, D., Hater, C., Hellweg, S. (2013). *An LCA Model for Waste Incineration Enhanced with New Technologies for Metal Recovery and Application to the Case of Switzerland*. Elsevier Journal Waste Management: 378-389

Bringezu, S. (1998). *Material Flow Analysis Supporting Technological Change and Integrated Resource Management*. In ConAccount Workshop – Ecologizing Social Metabolism. Amsterdam, The Neederlands.

Brunner, P.H., Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Lewis Publishers. ISBN: 0-203-59141-0

Buchholz, Rogene A. (2003). *Principles of Environmental Management – The Greenen of Business*. Prentice-Hall Inc.. ISBN:0-13-720541-4. Capítulo 9:271-301.

Björklund A. (1998). *Environmental Systems Analysis Waste Management*. Tese de Licenciatura. KTH Dept. of Chemical Engineering and Technology Industrial Ecology, Stockholm.

Caixeta, D.M. (2005). *Geração de Energia Elétrica a partir da Incineração de Lixo Urbano: Caso de Campo Grande/MS*. Monografia de Especialização para Pós-Graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade Brasília.

Casian, E. (2013). *Recuperação de Energia em Processo de Incineração de Resíduos*. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Cerbe, G., Wilhelms, G. (2013). *Technische Thermodynamik: Theoretische Grundlagen und Praktische Anwendungen*. Editora Hanser, 17ª Edição. ISBN: 978-3-44638-1. Capítulo 5: 223-290.

Chandler, A.J., Eighmy, T.T., Hartlén, J., Hjelmar, O., Kosson, D.S., Sawell, S.E., van der Sloot, H.A. e Vehlow, J. (1997). *Municipal Solid Waste Incinerator Residues*. Elsevier Science. ISBN: 0-444-82563-0. Capítulo 4.

Chang, R. (2010). *Química Geral: Conceitos Essenciais*. 4ª Edição. McGrawHill Editora.

Cimpan, C., Rothmann, M., Hamelin, L., Wenzel, H. (2015). *Towards Increased Recycling of Household Waste: documenting Cascading Effects and Materil Efficiency of Commingled Recyclables and Biowaste Collection*. Elsevier Journal of Environmental Management. Volume 157: 69-83.

Clavreul, J. (2009). *Environmental Performance of European Waste Management – Focus on Global Warming*. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Ambiental. DTU Environmental.

Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T.H., Damgaard, A. (2014). *EASETECH: An Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies*. Department of Environmental Engineering Technical, University of Denmark.

Coelho, P., Costa, M. (2007). *Combustão*. Edições Orion. ISBN: 978-972-8620-10-3. Capítulo 11: 513-562.

Costa, I., Massad, G., Agarwal, A. (2010). *Waste Management Policies for Industrial Symbiosis Development: Case Studies in European Countries*. Journal of Cleaner Production. Volume 18: 815-822.

Cruz, N.F., Simões, P., Marques, R.C. (2012). *Economic Cost of Recovery in the Recycling of Packing Waste-Case of Portugal*. Elsevier Journal Cleaner Production. Volume 37: 8-18.

Dalemo, M., Sonesson, U., Björklund, A., Mingarini, K., Frostell, B., Jönsson, H., Nybrant, T., Sundquist, J.O., Thyselius, L. (1997). *ORWARE A Simulation Model for Organic Waste Handling Systems. Part 1: Model Description*. Elsevier Journal: Resources, Conservation and Recycling. Volume 21: 17-37.

Da Silva, R.F.A. (2016). *Análise Comparativa de um Sistema de Refrigeração Solar*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia da Energia Solar. Departamento de Física da Escola de Ciências e Tecnologia. Universidade de Évora.

Dias, H.M.P. (1997). *Escórias da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos – Alternativas de Gestão*. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto.

Emery, A., Davis, A., Griffiths, A., Willians, K. (2006). *Environmental and Economic Modelling: A Case Study of Municipal Solid Waste Management Scenarios in Wales*. Elsevier Journal: Resources, Conservation and Recycling. Volume 49: 244-263.

Eriksson, O., Olofsson, M., Ekvall, T. (2003). *How Solid Based Systems Analysis can be Improved for Waste Management Planning*. Waste Management Research – Elsevier Journals. Volume 21: 488-500.

Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., Finnveden, G. (2007). *Limitations and Amendmends in Life-Cycle Assessment on Waste Management*. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium – Italy.

Fellner, J., Lederer, J., Purgar, A., Winterstellen, A., Rechberger, H., Winter, F., Laner, D. (2015). *Evaluation of Resource from Waste Incineration Residues: Case of Zinc*. Elsevier Journal. Volume 37: 95-103.

Ferreira, J.V.R. (2004). *Gestão Ambiental: Análise do Ciclo de Vida dos Produtos*. Instituto Politécnico de Viseu.

Finnveden, G., Björklund, A., Ekvall, T., Moberg, A. (2006). *Models for Waste Management: Possibilities and Limitations*. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.

Foley, G., DeVault, R. e Sweetser, R. (2000). *The future of absorption technology in America: a critical look at the impact of BCHP and innovation.* Advanced Building Systems Conference

Furtado, S.G. (2014). *Análise do Sistema de Tratamento de Efluentes Gasosos de uma Central de Valorização Energética de Resíduos Urbanos.* Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Química e Biológica. Instituto Superior de Engenharia Química. Universidade Nova de Lisboa.

Galante, G., Aiello, G., Enea, M., Panascia, E. (2010). *A Multi-Objective Approach to Solid Waste Management.* Elsevier Journal Waste Management. Volume 30:1720-1728.

Gonçalves, M.G.P., Martinho, M.G. (2002). *Gestão de Resíduos.* Universidade Aberta.

Gluch, P., Baumann, H. (2004). *The Life Cycle Costing (LCC) Approach: A conceptual Discussion of its Usefulness for Environmental Decision-Making.* Elsevier Journal Building and Environmental. Volume 39: 571-580.

Gregory, J. (2000). *Material Flow Analysis: Industrial Ecology – System Perspectives.* Department of Materials Science and Engineering – Massachusetts Institute of Technology.

Guzman, A.C., Sun, T., Nowalk, B. (2014). *Flows of Engineered Nanomaterials through the Recycling Process in Switzerland.* Elsevier Journal Waste Management. Volume 36: 33-43.

Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2009). *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica.* LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora, Ltda. 8ª Edição. Volume 2. ISBN:978-85-216-1606-1

Harris, E., Zeyer, K., Kegel, B., Emmenegger, L., Mohn, J. (2014). *Nitrous Oxide and Methane Emissions and Nitrous Oxide Isotopic Composition from Waste Incineration in Switzerland.* Elsevier Journal Waste Management. Volume 35: 135-140.

Hatakka, Tuoma. (2009). *Strategien zu Einer Stablen und Nachhaltigen Energie Versorgung.* In Kraftwerkstechnik-Sichere und Nachhaltige Energie Versorgung. 1ª Ed. Dresden-Alemanha, Technische Universität Dresden, 2009. ISBN: 978-3-935317-42-9.

Herczeg, M. (2013). *Municipal Waste Management in Switzerland.* Report European Environment Agency.

Henriques, R.M. (2004). *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica.* Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Ciências de Planeamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

IFEU, (2016). *Vergleich der Auswirkungen verschiedener Verfahren der Restmüllbehandlung.* Institut für Energie und Umweltfortschung. Deutschland.

Killer, H., Knecht, H. (2014). *Kapazitätsplanung bei Kerichtverbrennungs Anlagen mit Abwärmungnutzung.* Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats.

Kirkeby, J.T., Birgisdottir, H., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Bhandar, G.S. e Hausschild, M. (2006). *Environmental Assessment of Solid waste Systems and Technologies: EASEWASTE.* Waste Management Research. Volume 24: 3-15.

Lemos, L. (1997). *Inceneração de Resíduos Sólidos Urbanos: Qual a melhor opção de aproveitamento energético?* Millennium, 7

Levy, J.Q., Teles, M., Madeira, L., Pinela, A. (2002). *Mercado dos Resíduos em Portugal*. Associação de Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente (AEPISA). ISBN: 972 9027 57 9.

Lopes, P.B.S. (2013). *Estudo de um Permutador de Calor para Aplicação em Sistemas de Recuperação de Energia Térmica*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Automóvel. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria.

Lopes, D.M.T. (2014). *Optimização da Recolha Seletiva na Valorsul: Estudo de Cenários Alternativos*. Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Universidade Nova de Lisboa.

MacDougall, F., White, P., Franke, M., Hindle, P. (2001). *Integrated Solid Waste Management: A life Cycle Inventory*. Blackwell Science, London.

MacDonald, M. (1996). *Solid Waste Management Models: The State-of-the-Art Review*. Journal of Solid Waste Technology and Management. Volume 23:73-83.

Machado, C.F (2015). *Incineração: Uma Análise do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos BAURU/SP*. Monografia para obtenção de Grau de Engenheiro em Engenharia Ambiental. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Meinfelder, T., Richers, U. (2008). *Entsorgung der Schlacke aus der Termischen Restabfallbehandlung*. Institut für Technickfolgenabschätzung und Systemanalyse. Deutschland.

Melosi, M.V. (2004). *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*. University of Pittsburgh Press. ISBN – 13: 978-0-8229-7268-6.

Morrissey, A. J., Browne, J. (2004). *Waste management models and their application to sustainable waste management*. Elsevier Journal Waste Management Volume 24: 297–308.

Moutavtchi, V., Stenis, J., Hogland, W., Shepeleva, A. (2010). *Solid Waste Management by Application of WAMED Model*. Spring Journal. Volume 12:169-183.

Neto, V.M. (2016). *Modelação Energética de Sistemas de Absorção em TRNSYS*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade em Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra.

Niza, S., Santos, E., Costa, I., Ribeiro, P., Ferrão, P. (2014). *Extended Producer Responsibility Policy in Portugal: A strategy Towards Improving Waste Management Performance*. Elsevier Journal: Journal of Cleaner Production. Volume 64: 277-287.

Norris, G.A. (2001). *Integrating Life Cycle Cost Analysis na LCA*. Spring Journal – The International Journal of Life Cycle Assessment. Volume 6: 118-120.

Partidário, M.R. e Jesus, J. (2003). *Fundamentos de Avaliação de Impacte Ambiental*. Universidade Aberta. ISBN:972-674-405-9, Capítulo 1: páginas

Petts, J. (2004). *Barriers to Participation and deliberation in Risk decision: Evidence from Waste Management*. Journal for Risk Research -Carfax Publishing. Volume 7, Issue 2, 115-133.

Pires, A., Martinho, G., Chang, N. (2011). *Solid Waste Management in European Countries: A Review of Systems Analysis Techniques*. Elsevier Journal of Environmental Management. Volume 9: 1033-1050.

Pousinha, C.S.A. (2014). *Análise Energética e Económica de Sistemas Industriais de Arrefecimento de Água*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Instituto Superior e Tecnológico. Universidade de Lisboa.

Quina, M.M.J. (2005). *Processos de Inertização e Valorização de Cinzas Volantes: Incineração de Resíduos Urbanos*. Dissertação para obtenção de Grau Doutor em Engenharia Química. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Rigato, P.C. (2008). *Estudo da Composição da Alimentação de um Incinerador Rotativo de Resíduos visando o Aumento da Capacidade Operacional*. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Engenharia de Mauá, Instituto de Tecnologia de Mauá.

Reicheld, J., Pfrang-Stotz, G., Bergfeldt, B., Seifert, H., Knapp, P. (2013). *Formation of Deposits on the Surfaces of Superheaters and Economisers of MSW Incinerator Plants*. Elsevier Journal Waste Management. Volume 33: 43-41.

Rogers, M. (2001). *Engineering Project Appraisal*. Blackwell Science, London. ISBN: 978-0-470-67299-0

Sequeiros, B.A.H.L. (2012). *Aplicação de Indicadores de Empenho nos Serviços de Resíduos Urbanos*. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia do Território. Instituto Superior Técnico de Lisboa – Universidade de Lisboa.

Silva, F.C.N.P. (2014). *Avaliação do Potencial da Produção de Energia Elétrica através de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal Continental*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Simões, J.R.V.H. (2009). *Localização de Instalações de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Aplicação à Área Metropolitana de Lisboa*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Bioenergia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

Simões, C.L., Costa, L.M., Simões, L. Bernardo, C.A. (2013). *Integrating Environmental and Economic Life Cycle Analysis in Product Development: A Material Selection Case Study*. Springer Journal the International Journal of LCA. Volume 18: 1734-1746.

Solé, J.C.G. (2011). *Estudo da Influência da Solda no Comportamento Mecânico do Tubo Composto Aplicado em um Superaquecedor de Caldeira de Incineração de Lixo*. Tese de Conclusão do Curso em engenharia de Materiais. Centro Universitário da FEI.

Sonesson, U., Dalemo, M., Mingarini, K., Jönsson, H. (1997). *ORWARE- A Simulation Model for Organic Waste Handling Systems. Part 2: Case Study and Simulations Results*. Elsevier Journal Resources, Conservation and Recycling. Volume 21: 39-54.

Stykpa, T. (2011). *Municipal Solid Waste Management Models: Present Situation and Future Trends*. Cracow University of Technology, Institute of Thermal Process and Air Protection. Volume 24:31-155

Stykpa, T. e Flaga, A (2005). *Application of the Integrated Waste Management Model (IWM-1) into the Decision Process*. International Polisch-Swedisch Seminar on Sustainable Municipal Solid Waste Management, Kakow.

Sundberg, J., Gipperth, P., Wene, C.O. (1995). *A System Approach to Municipal Solid Waste Management: A Pilot Study of Göteborg.* Elsevier Journal Waste Management and Research. Volume 12: 73-91.

Thomé-Kozmiensky, K.J., Thiel, S. (2009). *Einsatz Ausgewählter Abfälle zur Stofflichen und Energetischen Verwendung in Kraftwerktechnik-Sicher und Nachhaltige Energie Versorgung.* 1° Ed. Dresden-Deutschland. Technische Universität Duden, 2009. ISBN: 978-3-935317-42-9.

Thomé-Kozmiensky, K.J. 1994). *Thermische Abfall Behandlung.* EF-Verlang Für Energie und Umwelttechnik GmbH. München-Deutschland. ISBN: 3-924511-77-2. Capítulo 0: 13-19.

Thomé-Kozmiensky, K.J. 1994). *Thermische Abfall Behandlung.* EF-Verlang Für Energie und Umwelttechnik GmbH. München-Deutschland. ISBN: 3-924511-77-2. Capítulo 5:128-280.

Thomé-Kozmiensky, K.J. 1994). *Thermische Abfall Behandlung.* EF-Verlang Für Energie und Umwelttechnik GmbH. München-Deutschland. ISBN: 3-924511-77-2. Capítulo 8:353-427

Thomé-Kozmiensky, K.J. 1994). *Thermische Abfall Behandlung.* EF-Verlang Für Energie und Umwelttechnik GmbH. München-Deutschland. ISBN: 3-924511-77-2. Capítulo 9:429-573

Thomé-Kozmiensky, K.J. 1994). *Thermische Abfall Behandlung.* EF-Verlang Für Energie und Umwelttechnik GmbH. München-Deutschland. ISBN: 3-924511-77-2. Capítulo 10:557-665

Von Böckh, P., Stripf, M. (2015). *Thermische Thermodynamik: Ein Beispielorientiertes Einführungsbuch.* Editora Springer, 2ª Edição. ISBN: 978-3662-46890-6. Capítulo 7: 259-305.

Von Böckh, P., Stripf, M. (2015). *Thermische Thermodynamik: Ein Beispielorientiertes Einführungsbuch.* Editora Springer, 2ª Edição. ISBN: 978-3662-46890-6. Capítulo 11: 451-490.

Uieda, F.A. (2009). *Projeto Básico de Central Termoelétrica com Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.* Trabalho para obtenção de Graduado em Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Mecânica-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Wessely, R.C.S. (2012). *Industriell Eingezte Verfahren zur Abscheidung Sauer Schadstoffe aus den Rauchgasen von Abfallverbrennungsanlage.* Institut für Prozess-und Partikelverfahrenstechnik, Technische Universität Graz.

Winkler, J., Bilitewski, B. (2007). *Comparative Evolution of Live Cycle Assessment Models for Solid Waste Management.* Elsevier Journal Waste Management. Volume 27: 1021-1031.

10. REFERÊNCIAS DE SITES

APA (2018) - Agência Portuguesa do Ambiente. *Políticas – Resíduos.* Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84> [Consultado em Janeiro de 2018].

BAFU (2017) - Bundesamt für Umwelt. *Indikator Abfall.* Disponível em: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-abfall/abfall--daten--indikatoren-und-karten/abfall--indikatoren/indikator-abfall.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWRtaW4uY2gvUHVibG/ljLOFlbURLdGFpbD9pbmQ9QUIwMDcmbG5nPWRIJlN1Ymo9Tg%3d%3d.html> [Consultado em Dezembro de 2017].

BAFU (2017) - Bundesamt für Umwelt. *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA).* Disponível em: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20141858/index.html> [Consultado a Dezembro 2017].

Bundesrat, Schweizer Regierung (2017). *Technische Verordnung für Abfälle (TVA).* Disponível em: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19900325/index.html> [Consultado em Dezembro de 2017].

BFE (2017) - Bundesamt für Energie. Disponível em: <http://www.bfe.admin.ch/> [Consultado em Janeiro de 2018].

B&T Engineering AG (2018). Disponível em: <https://www.bt-engineering.ch/> [Consultada em Abril de 2018].

B&T Group (2018). Disponível em: <https://www.bt-umwelt.de/> [Consultada em Abril de 2018].

Convenção de Basileia. Disponível em: http://www.ecomodus.eu/downloads/Basel_Convention-pt.pdf [Consultado em Março de 2018].

Diário da República (2018). Decreto-Lei n° 152-D/2017 de 11 de Dezembro, 2° Suplemento Série I de 2017/12/11. Disponível em: <https://dre.pt/web/guest/legislacao-consolidada/-/lc/114350681/view?q=Decreto+Lei+n%C2%B0152-D%2F2017> [Consultado em Abril de 2018].

Diário da República (2018). Decreto Lei n° 294/94 de 16 de Novembro. Disponível em: <https://dre.pt/web/guest/legislacaoconsolidada//lc/34528075/view?q=Decreto+Lei+n%C2%B020294%2F94> [Consultado em Abril de 2018].

Diário da República (2017). Despacho n° 14202-E/2016. Disponível em https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/FluxosEspecificosResíduos/ERE/licença%20SPV.pdf [Consultado a Dezembro de 2017].

DGEG (2018) - Direção-Geral de Energia e Geologia. Disponível em: <http://www.dgeg.gov.pt/> [Consultado em Maio de 2018].

EPA (2018) - Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/mkb/documents/fthermal.pdf> [Consultada em Abril 2018].

ERA (2010) - Environmental Risk Assessment. *ERA: An Approach for Assessing and Reporting Environmental Conditions.* Agência Europeia para o Ambiente. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/> [Consultado em Janeiro de 2018].

ERSAR (2018) - Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt> [Consultado em Abril 2018].

EDS-UE (2016) - Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para UE. Disponível em: https://www.google.ch/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEWj7x_HsOrnbAhUGiKYKHRtwCxYQFghGMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.observatorio.pt%2Fdownload.php%3Fid%3D682&usg=AOvVaw2xCvguJrZUpfIU8wB0S_0W [Consultado em Abril 2018].

EEA (2016) - European Environment Agency. *Municipal waste Management: Portugal.* Disponível em <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/municipal-waste> [Consultado a Dezembro de 2017].

EEA (2016) - European Environment Agency. *Municipal Waste Management: Switzerland.* Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/municipal-waste> [Consultado a Dezembro de 2017].

Eurostat (2017). Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat> [Consultado em Dezembro 2017].

INE (2018) - Instituto Nacional de Estatística. *Relatório Estatísticas dos Resíduos, 2014. Edição 2016.* Disponível em https://ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=255970741&PUBLICACOESstema=55523&PUBLICACOESmodo=2 [Consultado em Abril de 2018].

Märker-Gruppe (2018). Disponível em: <https://www.maerker-gruppe.net/produkte/sorbalit/produktinformationen.html> [Consultado em Maio de 2018].

Martin GmbH (2018). Disponível em: <https://www.martingmbh.de/de/> [Consultado em Abril de 2018].

Lipor II (2018). Disponível em: <https://lipor.pt/pt/> [Consultado a Abril 2018].

Lima, A.G.G. (2017). Artigo *Turbinas a Vapor* em Geração de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/tubinavapor.htm> [Consultado em Abril de 2018].

OECD (2000) - Working Group on Environmental Information and Outlooks. *Special Session on Material Flow Accounting.* Paris-France. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/4425421.pdf> [Consultado em Janeiro de 2018].

Paschotta, R. (2017). Artigo “*Dampfturbine*” em RP-Energie-Lexikon. Disponível em: <https://www.energie-lexikon.info/dampfturbine.html> [consultado em Janeiro 2018].

PEGRI (2001) - Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=208> [Consultado em Abril de 2018].

PERH (2011-2016) - Plano Estratégico de Resíduos Hospitalares. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=207> [Consultado em Abril de 2018].

PERSU (2020) - Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=108&sub3ref=209> [Consultado em Abril de 20118].

RASARP (2017) - Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx> [Consultado em Abril 2018].

RARU (2017) - Relatório Anual de Resíduos Urbanos. Disponível em: [https://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos_Urbanos/Relatorio%20Resíduos%20Urbanos%20\(RARU%202017\).pdf](https://www.apambiente.pt/zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos_Urbanos/Relatorio%20Resíduos%20Urbanos%20(RARU%202017).pdf) [Consultado em Abril 2018]

Valorsul (2018). Disponível em <http://www.valorsul.pt/> [Consultado em Abril de 2018].

WCES, Brundland Report (1987). *Our Common Future*. Report of the World Commission on Environmental and Development. Disponível em: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> [Consultado a Abril de 2018].

ANEXO 1: ENTREVISTA PARA VISITA DE ESTUDO LIPOR E VALORSUL

Este guião-entrevista visa a realização da tarefa 3 do Programa de Trabalhos para elaboração da Tese de mestrado em Cidadania Ambiental e Participação. Com este guião pretende-se atingir um conjunto de objetivos pilares para a elaboração do trabalho proposto e seguidamente enumerados:

- Caracterização do Sistema de Gestão de Resíduos e consequentemente os resíduos encaminhados para o tratamento térmico;
- Caracterização do processo de tratamento térmico em Portugal (conceitos tecnológicos e técnicas adotadas);
- Determinar custos de investimento;
- Avaliar sustentabilidade ambiental e económica do processo;
- Determinar e avaliar potencialidades do processo de incineração em termos de eficiência e eficácia energética para assim estabelecer linhas orientadoras para uma melhoria da rentabilidade energética;

Para atingir os objetivos atrás descritos segue-se um conjunto de questões, que serão colocadas durante as visitas às incineradoras do Porto e Lisboa, Lipor e Valorsul respetivamente, de forma a recolher informações para realizar os objetivos propostos e fazer uma comparação entre as metodologias usadas em Portugal e as metodologias usadas na Suíça.

Perguntas:

1. Quem foram os responsáveis, técnicos e investidores, pela planificação e projeção desta unidade de incineração? (Empresas de fornecimento de equipamento, forno/caldeira, tratamento de gases, circuito térmico)
2. Quais foram os custos do projeto e da construção da incineradora? Houve investimento comunitário? (Custos de equipamento e construção civil)
3. Que investimentos, modificações e intervenções têm sido feitos na incineradora deste a entrada em funcionamento e até hoje?

4. Qual é o número de funcionários a operarem a incineradora? (Turnos dia/noite (só operadores, número mínimo), operadores e funcionários administrativos e de manutenção – mecânicos, eletricitas)
5. Efetuam paragens do processo para procedimentos de manutenção?
6. Com que frequência ocorrem essas manutenções? (Quantas vezes ao ano e o tempo de duração das paragens)
7. Existem formações dos funcionários antes da sua entrada em funções e ações de formação durante o tempo em que estão empregados? Com que frequência ocorrem essas formações? (Documentos utilizados na formação dos funcionários)
8. É necessária formação específica? (Engenharia Mecânica ou outros)
9. Como se processou a aceitação da população na altura da projeção e construção? E atualmente?
10. Houve alguma ocorrência significativa a nível ambiental durante o funcionamento da instalação?
11. Existem propostas de melhoria de eficiência do sistema? Se sim, é viável a aplicação das mesmas?
12. Qual o conceito usado no tipo de sistema de caldeira?
13. A que temperaturas ocorre a incineração dos resíduos?
14. Que tipo de resíduos são queimados nesta unidade? (Urbanos, industriais, perigosos, hospitalares, biológicos) (Fornecimento dos resíduos, horário de abertura para descarregar os resíduos, capacidade de armazenagem da fossa)
15. Qual é a produção energética média desta unidade? (Entalpia do sistema) O excedente é vendido à rede? (Aquecimento, energia elétrica).
16. Qual é o gasto energético médio da instalação?
17. Qual é a amplitude da temperatura no forno aquando da incineração?
18. Quais são os valores energéticos e termodinâmicos? (Mínimo 5 anos)
19. Quais são os valores de temperatura e pressão em todo o sistema? (início, durante a queima, após a queima, geradores)
20. Qual a massa energética no início do sistema e final do sistema?
21. Qual é o poder calorífico dos resíduos?
22. Quais os parâmetros do vapor produzido na turbina?

23. Que tipo de turbina de vapor e parâmetros de funcionamento à entrada (live steam, alta pressão) e à saída (pressão média e baixa) e condensação?

Notas:

1. Se é possível um PFD (Process Flow Diagram)
2. PID (Piping Instrumentation Diagram)
3. Print screen dos computadores que estão nas salas de controlo.

ANEXO 2: ITINERÁRIO DA VISITA DE ESTUDO À LIPOR I E II 07/12/2016

10.00 - Chegada à receção da Lipor II. Ponto de encontro com Alexandre Ventura, contacto na Lipor.

10.10 - Chegada ao Edifício principal da Lipor II e encontro com o Dr. Abílio Almeida guia da visita às instalações da Lipor II. Breve explicação das regras de segurança e distribuição de capacetes.

10.30 - Visita à linha 1 de incineração no momento parada para obras de manutenção e controlo. A linha 2 encontrava-se em pleno funcionamento.

Início da visita na sala de controlo, interpretação do painel de controlo e explicação do funcionamento do sistema e os parâmetros. Seguida observação da sala de controlo a fossa de deposição dos resíduos urbanos após a recolha pelos serviços camarários. Segue-se a entrada na parte superior do forno descendo até à base deste. Foi possível ver o interior do forno devido à paragem da linha e observar a entrada de ar secundário, o tapete de separação do metal das cinzas, a cinta magnética de separação de metais e o local da sua deposição (fossa) para posterior redistribuição nas empresas de retoma.

Foi possível observar a linha 2 em funcionamento e fazer uma comparação com o anterior observado. Seguiu-se a área de recuperação energética, turbinas e gerador e explicação geral do funcionamento do sistema e produção energética mensal e anual. Seguiu-se para o exterior onde se encontram os condensadores e regresso ao edifício principal.

11.30 - Entrevista ao Dr. Abílio segundo o guião-entrevista com possibilidade de gravação da mesma. Disponibilidade do Dr. Abílio em responder a questões que possam posteriormente surgir e para quaisquer outros esclarecimentos.

12.00 – Enceramento da Visita à Lipor II e pausa para o almoço.

13.30 - Chegada à Lipor I.

13.45 - Pequena apresentação em slides da Lipor I e II surgimento e planificação as instalações

14.00 - Visita ao Aterro Sanitário recuperado (antiga lixeira). Central de triagem, explicação desde a chegada dos resíduos e o processamento de separação dos resíduos segundo a sua composição (cartão, papel, plásticos PET e outros, TetraPack, metal, etc), enfardamento e encaminhamento para as empresas de reciclagem. No final da visita observação da central de valorização orgânica e de biogás assim como o encerramento de um aterro sanitário e a sua conversão em parque.

15.00 - Regresso ao edifício principal e enceramento da visita.

ANEXO 3: ITINERÁRIO DA VISITA DE ESTUDO À VALORSUL 09/12/2016

10.00 – Chegada à receção da Valorsul.

10.15 – Receção de um responsável do departamento de comunicação da Valorsul

10.30 – Auditório. Curta apresentação sobre a Valorsul, enquadramento, objetivos e metas.

11.00 – Visita às instalações. Visita muito limitada devido a um exercício simulacro que decorria na altura. Foi possível entrar na sala de controlo e ter uma curta conversa com o responsável da sala. Visita ao interior das instalações não foi possível. Saída para o exterior, foi possível ver os condensadores e a área física para uma quarta linha assim como a prévia quarta entrada dos gases de combustão na chaminé.

11.30 – Regresso ao auditório e encontro com um funcionário para proceder à entrevista. Dentro das suas possibilidades respondeu às questões colocadas e foi possível efetuar a gravação da entrevista. Disponibilidade por parte da Valorsul para submeter o envio do guião entrevista para esclarecimentos mais técnicos pelo pessoal especializado e também esclarecimentos adicionais.

12.00 – Enceramento da visita às instalações da Valorsul.

ANEXO 4: SISTEMAS DE RECOLHA DA SUÍÇA



Fig.A4.1: Ecoponto na Suíça: da esquerda para a direita, dois contentores para vidro castanho, dois para vidro branco, dois para vidro verde e dois para metal (Fonte: a autora, 2018)



Fig.A4.2: Ecocentro (Müller AG, 2018)



Fig.A4.3: Cargotram em Zurique. (Retirado em 2018 de www.stadt-zuerich.ch)



Fig.A4.4: Cargotram em Zurique. (Retirado em 2018 de www.stadt-zuerich.ch)



Fig.A4.5: Exemplo de Contentor de Bioresíduos (Retirado em 2018 de www.stadt-zuerich.ch)



Fig.A4.6: Diversos recipientes de recolha de baterias (Retirado em 2018 de www.inobat.ch)

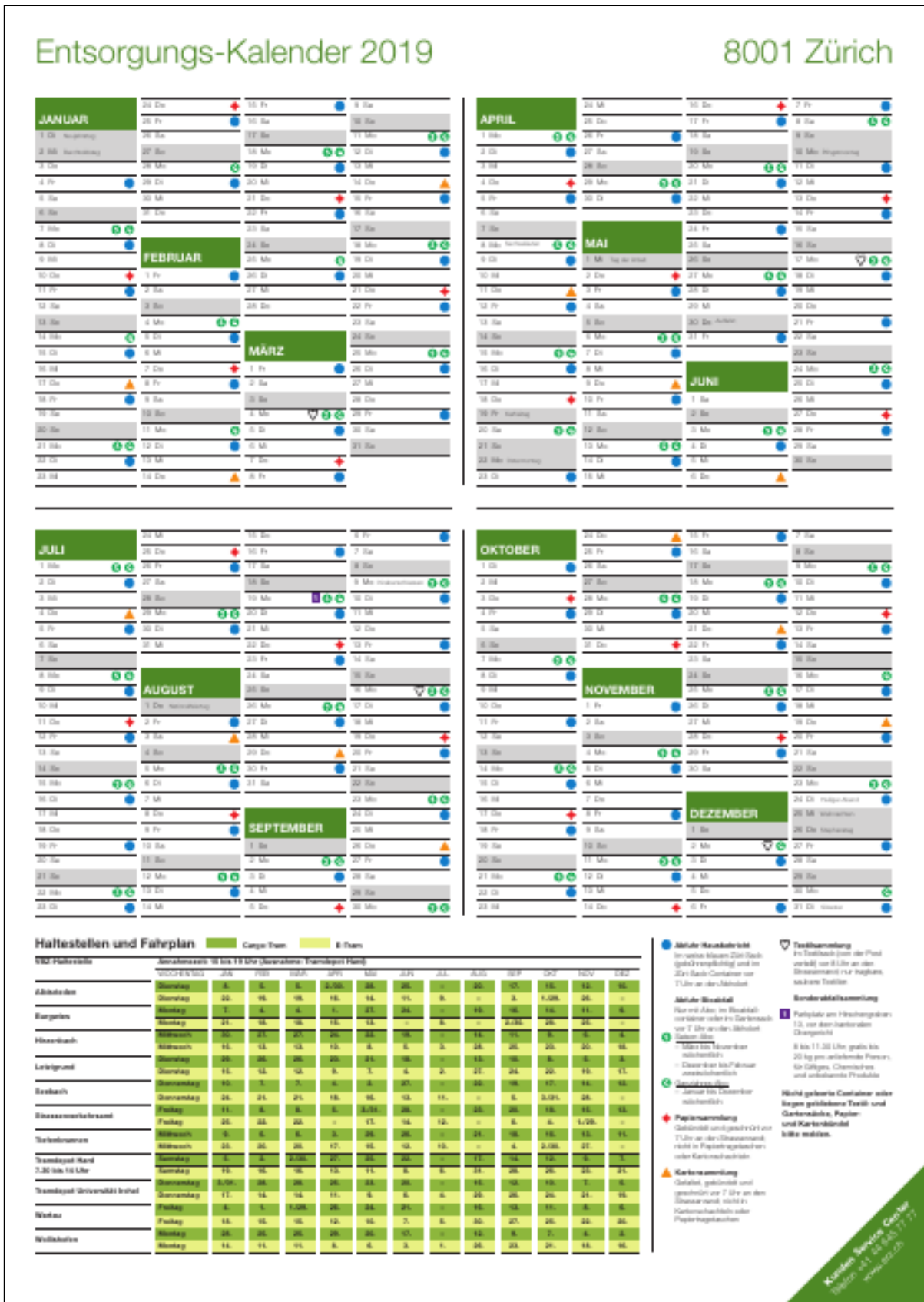


Fig.A4.6: Exemplo do calendário de recolha seletiva (Retirado em 2018 de www.stadt-zuerich.ch)

ANEXO 5: DETALHES DAS VÁRIAS INCINERADORAS

Spiegazione concemente i dati

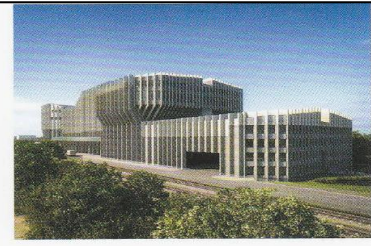
| | |
|--|---------|
| Quantità di rifiuti valorizzati | (t) |
| Quantità di rifiuti inceneriti nel 2013 | |
| Fornitura di energia elettrica | (kWh/t) |
| Energia elettrica prodotta per tonnellata di rifiuti inceneriti nel 2013 | |
| Fornitura di energia termica | (kWh/t) |
| Energia termica prodotta per tonnellata di rifiuti inceneriti nel 2013 | |
| Volume della fossa dei rifiuti | (m³) |
| Dimensione della fossa dove sono depositati i rifiuti prima dell'incenerimento | |
| Numero di linee di combustione | |
| Numero di fomi in servizio | |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | (l/t) |
| Quantità d'acqua necessaria per bruciare una tonnellata di rifiuti | |
| Produzione nominale di vapore | (t/h) |
| Quantità di tonnellate di vapore che le caldaie producono in un'ora | |

Art.-Nr. 222 37002
Fonte: ASIR e ACR VBSA - Postfach 261 - 3000 Bern 22 - ©2014



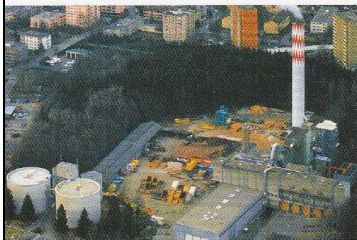
Buchs

| | |
|---|-----------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 109'368 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 384 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 692 kWh/t |
| Volume della fossa | 8'590 m³ |
| Altezza camini | 86 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'800 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 68 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1969 |



Perlen Renergia

| | |
|---|-------------|
| Capacità di valorizzazione | 200'000 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 775 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 2'500 kWh/t |
| Volume della fossa | 12'000 m³ |
| Altezza camini | 52 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 48 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 116 t/h |
| Impianto in servizio | 2015 |



Biel MÜVE

| | |
|---|-----------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 47'836 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 308 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 499 kWh/t |
| Volume della fossa | 3'000 m³ |
| Altezza camini | 83 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 112 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 24 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1967 |



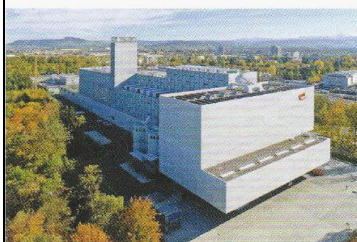
Basel IWB

| | |
|---|-------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 223'006 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 199 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 2'142 kWh/t |
| Volume della fossa | 30'000 m³ |
| Altezza camini | 110 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'309 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 110 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1943 |



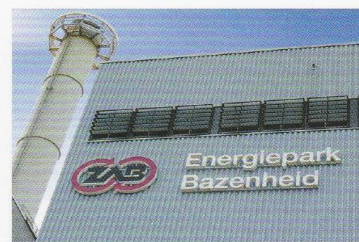
Buchs VFA

| | |
|---|-------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 176'005 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 441 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 1'121 kWh/t |
| Volume della fossa | 7'500 m³ |
| Altezza camini | 60 m |
| Numero di linee di combustione | 3 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 187 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 90 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1960 |



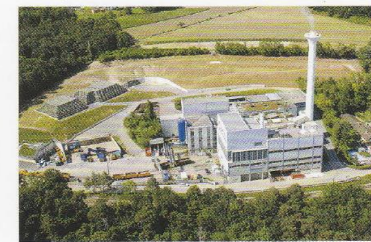
Bern EWB

| | |
|---|-------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 116'676 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 399 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 1'349 kWh/t |
| Volume della fossa | 28'500 m³ |
| Altezza camini | 70 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 750 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 70 t/h |
| Impianto in servizio dal | 2012 |



Bazenheid ZAB

| | |
|---|-----------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 50'775 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 159 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 992 kWh/t |
| Volume della fossa | 2'700 m³ |
| Altezza camini | 50 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'000 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | - t/h |
| Impianto in servizio dal | 1976 |



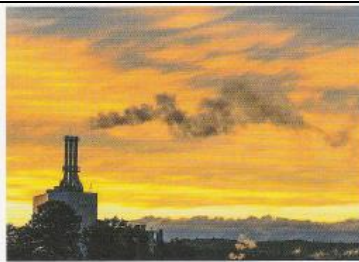
Colombier VADEC

| | |
|---|-----------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 59'377 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 380 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 496 kWh/t |
| Volume della fossa | 2'000 m³ |
| Altezza camini | 80 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 2'768 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 32 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1971 |



Dietikon Limeco

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 84'744 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 597 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 293 kWh/t |
| Volume della fossa | 9'000 m ³ |
| Altezza camini | 80 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 4'470 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 44 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1971 |



Emmenbrücke REAL

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 90'483 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 471 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 498 kWh/t |
| Volume della fossa | 3'000 m ³ |
| Altezza camini | 74 m |
| Numero di linee di combustione | 3 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 100 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 39 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1971 |



Gamsen Oberwallis

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 37'912 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 13 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 1'965 kWh/t |
| Volume della fossa | 7'900 m ³ |
| Altezza camini | 42 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'700 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 21 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1971 |



Giubiasco ACR

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 180'429 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 566 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 80 kWh/t |
| Volume della fossa | 9'000 m ³ |
| Altezza camini | 55 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 540 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 78 t/h |
| Impianto in servizio dal | 2009 |



Hinwil KEZO

| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 194'174 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 528 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 212 kWh/t |
| Volume della fossa | 10'000 m ³ |
| Altezza camini | 70 m |
| Numero di linee di combustione | 3 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 90 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 92 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1963 |



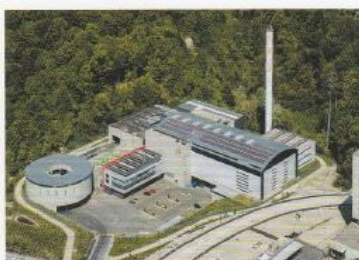
Horgen ZVHO

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 64'965 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 290 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 783 kWh/t |
| Volume della fossa | 1'500 m ³ |
| Altezza camini | 68 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'000 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 30 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1967 |



Les Cheneviers SIG

| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 224'903 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 375 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 900 kWh/t |
| Volume della fossa | 25'550 m ³ |
| Altezza camini | 105 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'445 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 130 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1966 |



Lausanne TRIDEL

| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 158'188 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 297 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 1'601 kWh/t |
| Volume della fossa | 10'000 m ³ |
| Altezza camini | 80 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 700 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 92 t/h |
| Impianto in servizio dal | 2006 |



La Chaux-de-Fonds VADEC

| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 52'431 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 322 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 1'261 kWh/t |
| Volume della fossa | 3'000 m ³ |
| Altezza camini | 75 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 4'324 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 24 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1972 |



Uvrier UTO



| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 77'362 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 317 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 119 kWh/t |
| Volume della fossa | 6'500 m ³ |
| Altezza camini | 50 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 301 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 29 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1971 |



Turgi



| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 123'430 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 545 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 396 kWh/t |
| Volume della fossa | 5'200 m ³ |
| Altezza camini | 86 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | - l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 58 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1970 |



Trimmis GEVAG



| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 102'576 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 415 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 646 kWh/t |
| Volume della fossa | 11'000 m ³ |
| Altezza camini | 73 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | - l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 50 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1975 |



Thun AVAG



| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 143'570 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 505 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 413 kWh/t |
| Volume della fossa | 13'000 m ³ |
| Altezza camini | 70 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 560 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 54 t/h |
| Impianto in servizio dal | 2003 |



St. Gallen



| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 74'542 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 310 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 884 kWh/t |
| Volume della fossa | 3'000 m ³ |
| Altezza camini | 90 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 220 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 30 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1972 |



Posieux SAIDEF



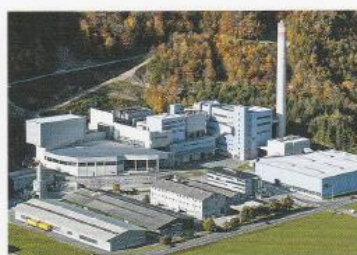
| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 93'260 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 578 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 623 kWh/t |
| Volume della fossa | 16'600 m ³ |
| Altezza camini | 80 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 205 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 45 t/h |
| Impianto in servizio dal | 2001 |



Oftringen ERZO



| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 93'976 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 488 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 175 kWh/t |
| Volume della fossa | 4'800 m ³ |
| Altezza camini | 60 m |
| Numero di linee di combustione | 1 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'300 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 33 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1974 |



Niederurnen Linthgebiet



| | |
|---|-----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 109'723 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 549 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 21 kWh/t |
| Volume della fossa | 10'000 m ³ |
| Altezza camini | 100 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 330 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 55 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1973 |



Monthey SATOM



| | |
|---|----------------------|
| Quantità di rifiuti valorizzati nel 2013 | 169'886 t |
| Energia elettrica prodotta dai rifiuti | 571 kWh/t |
| Energia termica prodotta dai rifiuti | 424 kWh/t |
| Volume della fossa | 7'000 m ³ |
| Altezza camini | 86 m |
| Numero di linee di combustione | 2 |
| Consumo d'acqua per tonnellata di rifiuti | 1'200 l |
| Produzione di vapore, valore nominale | 85 t/h |
| Impianto in servizio dal | 1976 |



Fig. A5.1: Informações gerais das incineradoras da Suíça (VBSA, 2014)

ANEXO 6: COMPONENTES DE INCINERAÇÃO

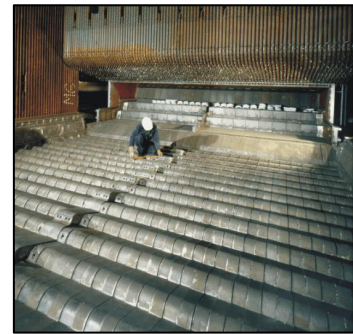
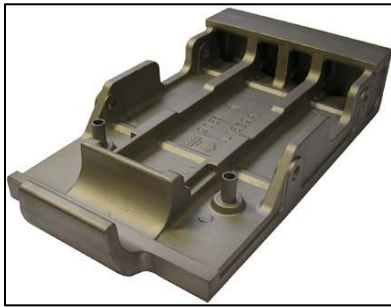


Fig. A6.1: Garras da grelha (Martin GmbH, 2018)