



**Carina Freitas Cardoso Valoração Energética de um Processo de
Incineração de Resíduos**



Carina Freitas Cardoso Valoração Energética de um Processo de Incineração de Resíduos

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica da Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro, e coorientação científica do Doutor Luís António da Cruz Tarelho, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

O júri

Presidente

Prof. Doutor António Gil D' Orey de Andrade Campos
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor Vítor António Ferreira Costa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno
Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer á minha orientadora Professora Mara Madaleno pelo apoio prestado, paciência e qualidade na orientação.

Também agradeço ao professor Luís Tarelho pela orientação e apoio.

Agradeço também à Eng.^a Maria Ekstrom e à Direcção Técnica da TERAMB pela colaboração e fornecimento de dados.

A todos os meus amigos que de alguma forma me ajudaram a enfrentar mais uma etapa da minha vida.

Por fim, agradecer a toda a minha família, em especial à minha mãe, pela compreensão e apoio demonstrados ao longo da realização deste trabalho, bem como ao longo da minha vida académica.

Palavras-chave

Gestão de resíduos, Incineração de resíduos, Valorização, Recuperação de energia, Fórmula R_1 . Produção e consumo de eletricidade.

Resumo

Atualmente são observadas duas problemáticas na sociedade moderna: uma relacionada com a procura de energia e a sua origem, proveniente principalmente de fontes fósseis, e a outra com o aumento da produção de resíduos e a sua inadequada gestão e deposição final. De modo a encorajar a recuperação de energia a partir dos resíduos, a Comissão Europeia definiu um critério para avaliar a natureza de operação das instalações de incineração de resíduos: valorização (R1) ou eliminação (D10), através da fórmula R_1 , que é basicamente um indicador da recuperação de energia a partir da incineração de resíduos. Inicialmente a *Confederation of European Waste-to-Energy Plants* investigou a eficiência energética de 314 unidades de incineração na Europa. Mais tarde Grosso et al. (2010) calcularam a eficiência energética de um número significativo de unidades de incineração da Europa, nos quais não se inclui a recente unidade de incineração de resíduos da ilha Terceira.

O presente trabalho investiga a eficiência energética da Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da ilha Terceira (CTVRIT) e o seu contributo para o sector elétrico da ilha Terceira. Os resultados obtidos demonstram que a unidade de incineração da ilha Terceira em 2016 e 2017 obtivera uma $R_1 \leq 0,65$, sendo considerada uma operação de valorização (R1). Em ambos os anos verifica-se que a produção de eletricidade da CTVRIT corresponde a mais de 4% da produção total de eletricidade na ilha Terceira, contribuindo assim para uma diminuição na produção de eletricidade a partir de combustíveis fósseis.

Keywords

Waste Management, Waste Incineration, Valorization, Energy Recovery, R_1 Formula, Electricity Production and Consumption

Abstract

There are currently two problems in the modern society: one related to energy demand and its origin, mainly from fossil sources, and the other with increased waste production and inadequate disposal. In order to encourage the recovery of energy from waste, the European Commission has defined a criterion for assessing the nature of operation of waste incineration plants: recovery (R1) or disposal (D10) by means of the formula R_1 , which is basically an indicator of energy recovery from waste incineration. Initially the Confederation of European Waste-to-Energy Plants investigated the energy efficiency of 314 incineration plants in Europe. Later Grosso et al. (2010) calculated the energy efficiency of a significant number of incineration plants in Europe, without including the recent waste incineration plant on Terceira Island.

The present work investigates the energy efficiency of the Waste Treatment and Valorization Center of Terceira Island (CTVRIT) and its contribution to the electric sector of Terceira Island. Results show that the incineration plant of Terceira Island in 2016 and 2017 had a $R_1 \leq 0.65$ and it is considered a recovery operation (R1). In both years, CTVRIT's electricity production corresponds to more than 4% of the total electricity production in Terceira Island, thus contributing to a decrease on the electricity production through the use of fossil fuels.

ÍNDICE

Índice de Figura.....	ix
Índice de Tabela.....	xi
Lista de Nomenclaturas.....	xiii
Lista de Abreviaturas.....	xv
Capítulo I: Introdução.....	1
Capítulo II: Energia e Resíduos.....	5
2.1 Problemática Energética.....	5
2.2 Definição e classificação de resíduos.....	8
2.3 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	9
2.4 Problemática dos RSU.....	10
Capítulo III: Processos de conversão térmica de resíduos.....	15
3.1 Gasificação.....	15
3.2 Pirólise.....	15
3.1 Incineração.....	15
3.1.1 Características do Processo.....	16
3.1.2 Tecnologias de Incineração.....	17
3.1.3 Recuperação de energia.....	20
3.1.4 Controlo e tratamento de emissões.....	23
Capítulo IV: Indicador de recuperação de energia R_1	27
Capítulo V: Caso de Estudo.....	41
5.1 Caracterização da central de valorização energética da ilha Terceira.....	41
5.1.1 Resíduos rececionados na CTVRIT.....	42
5.1.2 Gestão de resíduos.....	42
5.2 Unidade de Incineração da CTVRIT.....	44
5.2.1 Receção de resíduos.....	47
5.2.2 Sistema de alimentação.....	47
5.2.3 Grelha de Combustão.....	47
5.2.4 Recuperação de Energia.....	48
5.2.5 Tratamento de gases provenientes da incineração.....	49
Capítulo VI: Indicador de recuperação energético R_1 da central de valorização energética da ilha Terceira.....	51
Capítulo VII: Análise Custo Benefício de funcionamento e exploração da central de valorização energética da ilha Terceira.....	59
Capítulo VIII: Contributo da unidade de Incineração no Sector Elétrico da ilha Terceira.....	63
8.1 Potência Instalada.....	63
8.2 Consumo de eletricidade.....	64

8.3	Produção de energia Elétrica.....	68
8.4	Emissões de CO ₂ associadas à produção de Energia elétrica.....	73
Capítulo IX: Conclusões		75
Referências		79
Anexos.....		85
Anexo A – Dados para o cálculo da Eficiência Energética, cedidos pela empresa TERAMB		85
Anexo B – Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira, entre 1991 e 2017		91
Anexo C – Produção de eletricidade, por tipo de origem, na ilha Terceira, entre 1991 e 2017 ..		93

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 - Consumo mundial de energia primária, entre 1971 e 2015, em função da fonte energética.....	5
Figura 2 - Consumo mundial de eletricidade em TWh, entre 1971 e 2015, em função da tecnologia	6
Figura 3 - Emissões mundiais de CO ₂ em Mt, entre 1971 e 2015, em função do tipo de combustível.	6
Figura 4 - Consumo de energia primária por fonte energética.	7
Figura 5 - Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.	8
Figura 6 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a sua origem e características.....	9
Figura 7 - Caracterização física dos RSU produzidos em Portugal Continental no ano de 2016. ...	10
Figura 8 - Resíduos municipais gerados por país em 2005 e 2016, classificados até 2016 (kg/per capita).....	11
Figura 9 - Evolução da produção e da capitação dos resíduos urbanos em Portugal Continental.	13
Figura 10 - Destino direto dos RU.....	14
Figura 11 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de grelha móve.	18
Figura 12 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de forno rotativo.	19
Figura 13 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de leito fluidizado.	20
Figura 14 - Ilustração das áreas de troca de calor.....	22
Figura 15 - Ciclo de vapor simples.....	23
Figura 16 - Fronteira do sistema de eficiência energética.	32
Figura 17 - Ajustamento de PCI de RSU incinerados para o período entre 2001-201.....	33
Figura 18 - Poder calorífico inferior calculado para as 314 unidades de incineração (situação 2007-2010).	34
Figura 19 - Fórmula R ₁ calculada para as 314 unidades de incineração (situação 2007-2010).	35
Figura 20 - Comparação da eficiência R ₁ de unidades de incineração em função do tipo de recuperação de energia para os períodos de 2004-2007 e 2007-201.	36
Figura 21 - Eficiência R ₁ calculada para diferentes unidades de incineração de resíduos.	37
Figura 22 - Quantidade total de resíduos rececionados na CTVRIT entre 2016 e 2017].....	42
Figura 23 - Produção de Resíduos Urbanos, na ilha Terceira, entre 2014 e 2016.	43
Figura 24 - Evolução das operações de tratamento de resíduos na CTVRIT.	44
Figura 26 - Esquema da CVE.	46
Figura 26 - Evolução do consumo final de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, de 1991 a 2017.....	64
Figura 27 - Evolução do consumo de final energia elétrica <i>per capita</i> , na ilha Terceira, de 1991 a 2017.....	65
Figura 28 - Evolução do preço médio de venda de eletricidade, na ilha Terceira, entre 2008 e 2016.....	65

Figura 29 - Distribuição do consumo de energia elétrica, por sector, na ilha Terceira, de 1991; 2010 e de 2015 a 2017.....	66
Figura 30 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2015.....	67
Figura 31 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2016.....	67
Figura 32 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2017.....	68
Figura 33 - Evolução da produção de energia elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de 1991 a 2017.....	69
Figura 34 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2015.	69
Figura 35 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2015	70
Figura 36 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2016.	71
Figura 37 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2016	71
Figura 38 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2017	72
Figura 39 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2017	72
Figura 40 - Emissões de CO ₂ associadas á produção de energia elétrica, na ilha Terceira, entre 2011 e 2017.....	73

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 - RSU, incinerado, reciclado e compostagem na UE-28, 1995 a 2016.	12
Tabela 2 - Quantificação de RU produzidos em Portugal.....	13
Tabela 3 - Eficiência para diferentes tipos de recuperação de energia.....	21
Tabela 4 - Valores limite de emissão (VLE) para as médias diárias.	24
Tabela 5 - Eficiência de recuperação de energia calculada através da fórmula R_1 para vários países da UE.....	38
Tabela 6 - Consumos internos de energia importada.	49
Tabela 7 – Dados para o cálculo do PCI dos resíduos, em 2016.....	52
Tabela 8 – Dados para o cálculo do PCI dos resíduos, em 2017.....	53
Tabela 9 – Indicador de recuperação de energia, da CVEIT, em 2016	55
Tabela 10 - Indicador de recuperação de energia, da CVEIT, em 2017.	57
Tabela 11 - Custos totais de funcionamento e exploração da CVEIT.....	59
Tabela 12 - Benefícios pela venda de eletricidade e prestação de serviços da CVEIT	60
Tabela 13 - Benefícios com a redução no consumo de combustíveis fósseis	61
Tabela 14 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1991 e 1994	91
Tabela 15 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1995 e 1998	91
Tabela 16 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1999 e 2002	92
Tabela 17 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2003 e 2005	92
Tabela 18 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2007 e 2010	92
Tabela 19 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2011 e 2014	93
Tabela 20 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1991 e 2017	93
Tabela 21 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 1991 e 1995.....	93
Tabela 22 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 1996 e 2000.....	94
Tabela 23 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2001 e 2005.....	94
Tabela 24 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2006 e 2010	94
Tabela 25 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2011 e 2015	95
Tabela 26 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2016 e 2017	95

LISTA DE NOMENCLATURAS

Nomenclatura	Designação
T_b	Temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira
$c_{st\ hp}$	Entalpia de vapor
c_{stbw}	Entalpia de água da caldeira
$c_{st\ x}$	Entalpia líquida de vapor
c_f	Valor calorífico do combustível suplementar que aumenta a produção de vapor
m	Massa de resíduos incinerados no período de tempo definido
m_f	Quantidade de combustível suplementar utilizado no período de tempo correspondente
$m_{st\ x}$	Quantidade total de vapor produzido em um período de tempo definido
$m_{st\ w}$	Quantidade de vapor produzido a partir dos resíduos no mesmo período de tempo para m_{st}
E_{th}	Energia anual produzida sob forma de calor
E_{el}	Energia anual produzida sob forma de eletricidade
E_p	Energia anual produzida sob a forma de calor ou eletricidade
$m_{fuel, gas\ óleo}$	Massa de combustível utilizada
$m_{fuel, gas\ óleo}$	Poder calorífico inferior dos combustíveis utilizados
E_f	Entrada anual de energia no sistema a partir de combustíveis que contribuem para a produção de vapor
E_i	Energia anual importada de E_f e E_w
m_{waste}	Massa de resíduos incinerados
PCI_{waste}	Poder calorífico inferior dos resíduos
E_w	Energia anual contida nos resíduos tratados
GDA	Graus-dias de aquecimento

R_1 Indicador de Recuperação de Energia

FCC Fator de Correção Climática

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Designação
CDR	Combustível Derivado do Resíduo
CEWEP	Confederation of Waste to Energy Plants
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
C ₂ H ₄	Etileno
CHP	Produção de Eletricidade e Calor
CHCD	Central Hídrica da Cidade
CHNA	Central Hídrica da Nasce D'Água
CHSJ	Central Hídrica de São João
CPRA	Centro de Processamento de Resíduos Animais
CTBJ	Central Termoelétrica do Belo Jardim
CTVRIT	Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da Ilha Terceira
CVE	Central de Valorização Energética
DL	Decreto de Lei
EDA	Eletricidade dos Açores
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HCl	Ácido Clorídrico
HF	Fluoreto de Hidrogénio
Hg	Mercúrio
H ₂ O	Água
LER	Lista Europeia de Resíduos
NO _x	Óxidos de Nitrogénio

NH ₃	Óxido de Amónia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
O ₂	Oxigénio
PESC	Parque Eólico da Serra do Cume
PESN	Parque Eólico da Serra do Cume Norte
PMV	Preço Médio de Venda
PMVMT	Preço Médio de Venda de Média Tensão
PMVBT	Preço Médio de Venda de Baixa Tensão
PAH's	Hidrocarbonetos Aromáticos Policlínicos
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
RSU	Resíduo Sólidos Urbano
RU	Resíduos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SO _x	Óxidos de Enxofre
UE	União Europeia
VLE	Valor Limite de Emissões

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Na sociedade moderna conseguimos observar duas grandes problemáticas que têm originado debate. A primeira relacionada com a procura de energia e a sua origem, proveniente principalmente de fontes fósseis com todas as implicações que daí advêm, e a segunda relativamente ao aumento da produção de resíduos e a sua inadequada deposição.

Com o aumento da população e a melhoria da qualidade de vida, conseqüentemente, houve um aumento das necessidades energéticas, sustentadas em grande parte pelo consumo de combustíveis fósseis, que trazem tantas conseqüências a nível ambiental como a nível económico. Além do aumento das necessidades energéticas, também se verifica um aumento na produção de resíduos que, se não forem devidamente tratados, comportam graves problemas para a saúde e para o meio ambiente.

Só através da educação ambiental, da redução do consumo e da implementação de práticas ecologicamente corretas de gestão, se poderá resolver o problema dos resíduos urbanos. A utilização sistemática de separação e segregação na origem de materiais com valor de mercado, principalmente daqueles que já não sendo ambientalmente, economicamente e tecnicamente apropriados para a valorização material, em virtude do seu estado de sujidade ou contaminação são os melhores combustíveis, por certo, esses podem contribuir para o aumento da quantidade de energia que pode ser recuperada através de processos de incineração. A incineração por si própria apresenta-se como um método de valorização ou de eliminação, tendo como vantagem a recuperação do conteúdo energético do resíduo e a diminuição da quantidade de resíduo destinado para aterro.

O nível de unidades de incineração de resíduos na Europa mostra que o tratamento térmico de resíduos se tem revelado como uma solução bastante recorrente ao nível da gestão de resíduos. Embora essa matéria continue a ser questionável, os tratamentos térmicos de resíduos como aproveitamento de energia devem continuar a ser uma solução de tratamento equacionada no âmbito da gestão de resíduos urbanos.

De modo a encorajar a recuperação de energia a partir dos resíduos, a Comissão Europeia definiu um critério para avaliar a natureza da operação das instalações de incineração de resíduos: valorização (R1) ou eliminação (D10), através da fórmula R_1 , que é basicamente um indicador da recuperação de energia a partir da incineração de resíduos.

O critério R_1 considera a energia recuperada dos resíduos e os seus usos como eletricidade ou calor quer seja para aquecimento ou arrefecimento, ou em termos de processar vapor na indústria. Na maioria dos casos a eletricidade pode ser facilmente distribuída para a rede elétrica nacional, ou se possível torna-se útil exportar calor ou processar vapor para uso local como na indústria e em edifícios [1]. A utilidade deriva do facto de melhorar a eficiência energética geral e o desempenho económico da incineradora [1], [2].

Estudos anteriores focam-se em tecnologias de desperdício de energia, incluindo-se tecnologias de tratamento de resíduos por incineração [3], redução de emissões [4] e aplicações tecnológicas [5]. Existem evidências de que as instalações de incineração de resíduos com elevada recuperação energética transformam a incineração de resíduos numa fonte de energia renovável atraente, desde que uma fração significativa da energia produzida possa ser utilizada [6]. Já os resultados de [7] evidenciam que as incineradoras apresentam desperdícios de energia consideráveis devido à recuperação de calor e potencial de gerar eletricidade por via de turbinas de vapor. Deste modo, melhorar a eficiência da recuperação de energia é uma questão fundamental na gestão de resíduos sólidos urbanos [2].

Na gestão moderna de resíduos a recuperação de energia é essencial sendo que os métodos mais comuns usados para tratamento de resíduos são a reciclagem, o aterro, o tratamento biológico mecânico e a incineração [8]. Segundo [9], a incineração de resíduos é uma operação de tratamento amplamente aplicada para recuperar o conteúdo energético dos resíduos [9].

Este trabalho centra-se em dois objetivos essenciais. O principal objetivo consiste em determinar o índice de recuperação energética da Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da ilha Terceira (CTVRIT), uma vez que não existe nenhum estudo que contempla a unidade de incineração da ilha Terceira. Outro objetivo será analisar qual o contributo da unidade de incineração em análise relativamente ao setor electroprodutor da ilha Terceira, apurando-se os ganhos em termos de redução de custos pela eficiência energética gerada de substituição de combustíveis fósseis na produção de eletricidade. O período de análise centra-se nos anos de 2015 a 2017, para os quais se possuíam dados para perseguir estes dois objetivos.

No Capítulo I, é apresentado o contexto, a motivação, e os objetivos e expectativas da contribuição deste trabalho. No Capítulo II, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o padrão de consumo de energia e produção de resíduos sólidos urbanos, a nível Europeu

e Nacional, ainda neste Capítulo pode-se ver uma revisão sobre a classificação e definição dos resíduos. No Capítulo III, apresenta-se o estado de desenvolvimento técnico dos processos de conversão térmica de resíduos. No Capítulo IV, é apresentada uma breve revisão bibliográfica da fórmula R_1 e a sua aplicação em unidades de incineração da Comunidade Europeia. No Capítulo V é apresentada a caracterização do caso de estudo, nomeadamente da Central de Valorização Energética da ilha Terceira, e depois no Capítulo VI é aplicado o indicador de recuperação de energia R_1 para o caso de estudo. E de seguida no Capítulo VII é efetuada uma análise de Custo Benefício da Central de Valorização Energética da ilha Terceira. No Capítulo VIII é apresentado o contributo da unidade de incineração para o sector electroprodutor da ilha Terceira. E por fim, no Capítulo IX é sumariado todas as conclusões e limitações desta dissertação.

CAPÍTULO II: ENERGIA E RESÍDUOS

Atualmente são observadas duas problemáticas na sociedade moderna: uma relacionada com a procura de energia e a sua origem, proveniente principalmente de fontes fósseis, e a outra com o aumento da produção de resíduos e a sua inadequada deposição.

2.1 PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA

Com a melhoria da qualidade de vida e o aumento da população mundial houve, conseqüentemente, um aumento das necessidades energéticas. Como seria de esperar, esta ampliação populacional e energética levou a um aumento da dependência de combustíveis fósseis e às conseqüências ambientais e económicas que daí advêm.

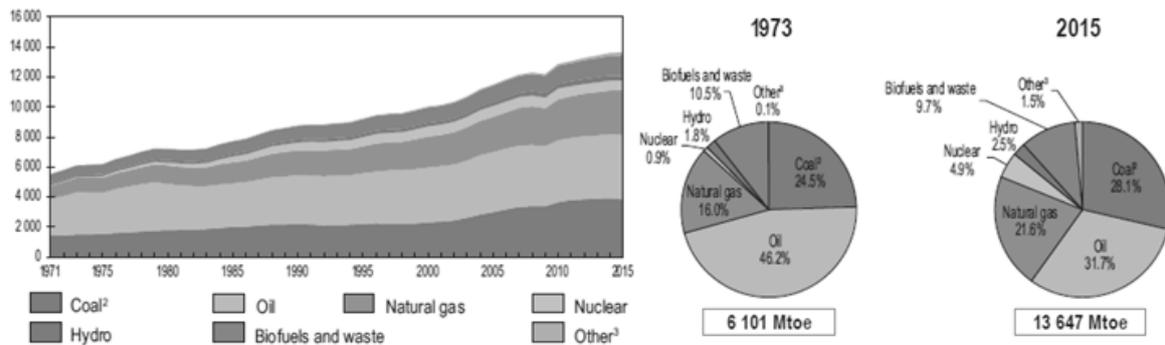


Figura 1 - Consumo mundial de energia primária, entre 1971 e 2015, em função da fonte energética [10, p.6].

Nas últimas décadas verificou-se um aumento do consumo de energia primária a nível mundial, passando de 6 115 Mtep em 1973 para 13 647 Mtep em 2015, o que representa um valor duas vezes superior ao inicial. Esse crescimento pode ser verificado na Figura 1, que mostra a evolução do consumo de energia primária em função da fonte energética.

O consumo de eletricidade também segue a mesma tendência de crescimento, sendo que passou de 6 116 TWh em 1973 para 19 777 TWh, o que praticamente representa o quádruplo do consumo inicial. Esta evolução é evidenciada na Figura 2.

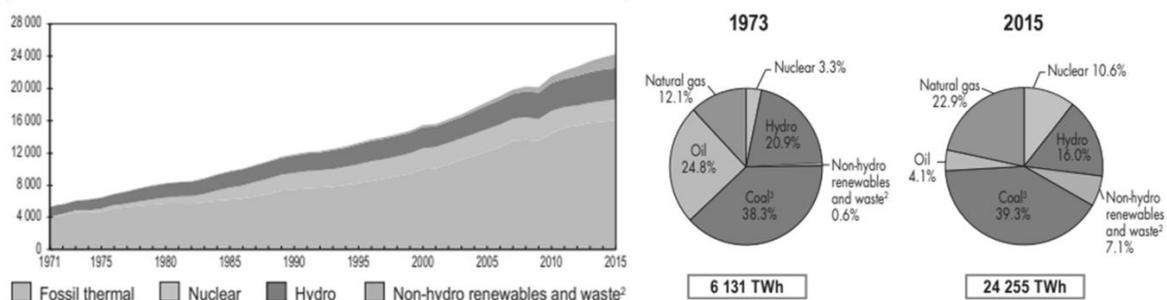


Figura 2 - Consumo mundial de eletricidade em TWh, entre 1971 e 2015, em função da tecnologia [1, p.30].

Embora a produção de eletricidade a partir de combustíveis fósseis tenha diminuído cerca de 7,1%, esta continua a ser o recurso mais utilizado para a produção de eletricidade [10]. É notório o surgimento de outras fontes de produção de eletricidade, nomeadamente fontes de energia renovável, que nas últimas décadas tiveram um crescimento de 6,5% [10].

Foi também devido à crescente utilização de combustíveis fósseis, que se verificou um aumento de emissão de gases causadores de efeito de estufa, como CO_2 , que entre 1973 e 2015 duplicaram, passando de 15 458 Mt de CO_2 para 32 294 Mt de CO_2 . No período analisado verifica-se um aumento na quota das emissões associadas ao carvão e ao gás natural e, conseqüentemente, uma diminuição da quota do petróleo nas emissões.

Devido à crescente industrialização nas últimas décadas verificou-se um grande aumento anual das emissões de CO_2 . Deste modo, é de grande importância investir em sistemas de conversão de energia mais eficientes, políticas de racionalização de energia e em formas alternativas de produção de energia [10].

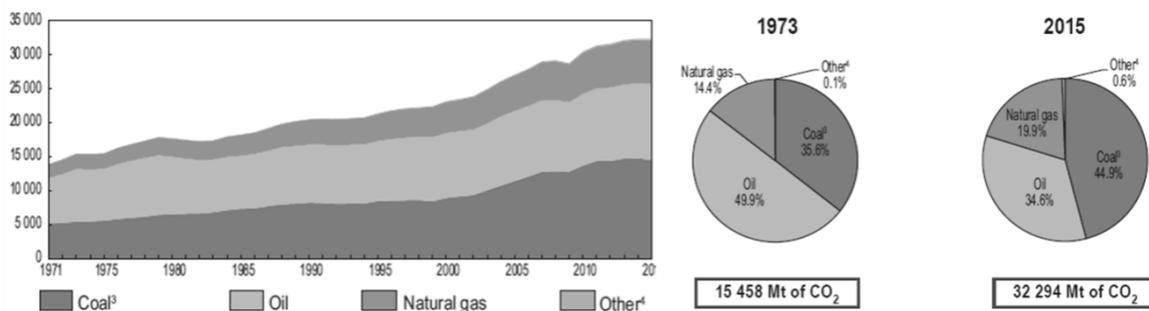


Figura 3 - Emissões mundiais de CO_2 em Mt, entre 1971 e 2015, em função do tipo de combustível [1, p.54].

Os dados anteriormente apresentados comprovam que o paradigma de desenvolvimento mundial está extremamente ligado ao crescente consumo de energia, e que esta tendência não apresenta sinais claros de mudança. Para além da economia mundial estar muito dependente dos combustíveis fósseis, o uso intensivo da energia é uma prática comum, como prova o consumo médio anual de eletricidade *per capita* nos países da OCDE, que foi de 8 016 kWh no ano de 2015 [10].

Devido à utilização dos combustíveis fósseis ser feita, maioritariamente, por processos de combustão, cujas consequências são visíveis para o meio ambiente, está-se a sujeitar gravemente o bem-estar das gerações futuras através do aparecimento e crescimento de catástrofes ambientais, tais como o aumento das temperaturas e consequente degelo, a acidez dos solos e o nevoeiro fotoquímico [10]. Posto isso, surge a necessidade de investir em sistemas de conversão de energia mais eficientes, políticas de racionalização de energia e em formas alternativas de produção de energia [10].

Em 2016, Portugal consumiu cerca de 21 919 ktep de energia primária, tendo-se verificado um decréscimo de 0,6%, face ao ano anterior. Verifica-se que o petróleo tem um peso bastante importante na estrutura do consumo primário de energia, representando 42,8% da energia consumida em 2016. Seguida pelo gás natural que surge com 18,6% e pelo carvão com cerca de 14,8% [11]. Portugal é um país com uma elevada dependência energética externa, uma vez que não possui recursos petrolíferos próprios, nem jazidas de gás natural ou minas de carvão em atividade. Esta escassez conduz a uma elevada dependência energética do exterior (75,4% em 2016), nomeadamente das importações de fontes primárias, contudo face ao ano anterior verificou-se um decréscimo de cerca de 3,9% das importações de fontes primárias de energia [11].

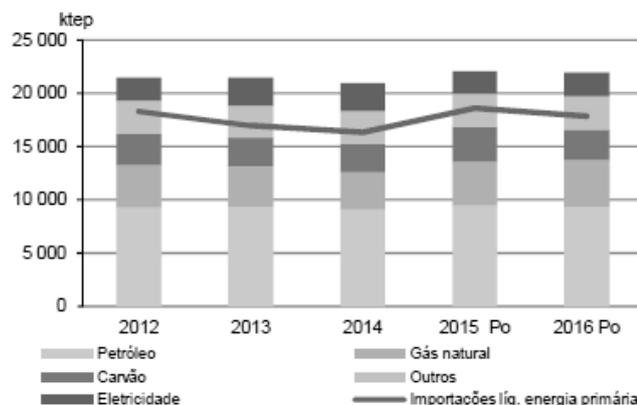


Figura 4 - Consumo de energia primária por fonte energética [11, p.123].

Em 2016 as fontes de energia renováveis contribuíram com 21,8% para o consumo de energia primária. A energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis, cerca de 2 776 ktep em 2016, representou 55,5% do total de eletricidade produzida em Portugal, contribuindo com 25,4% para o consumo energia primária. Em termos do peso relativo de cada fonte no total da produção de eletricidade a partir das fontes renováveis, em 2016, a hídrica representou 50,6%, a eólica 37,3% e a térmica 9.2% (inclui a queima de biomassa e de resíduos sólidos urbanos), sendo as restantes pouco significativas [11].

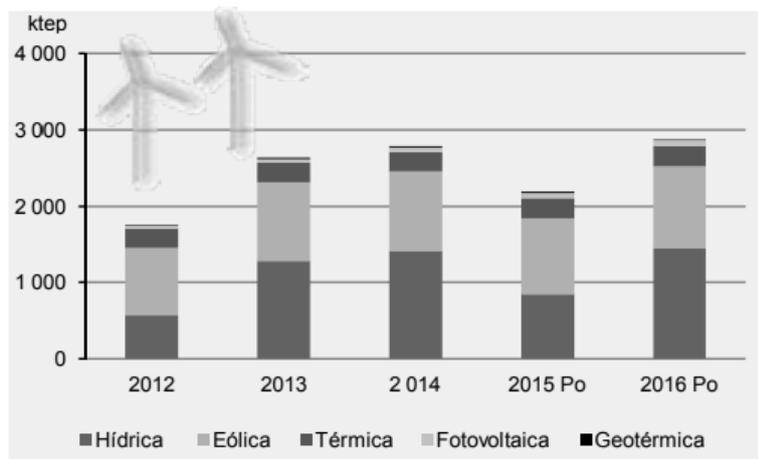


Figura 5 - Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis [11, p.127].

2.2 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS

De acordo com o artigo 3.º do Decreto de Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho, que estabelece o Regime Geral de Resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, os resíduos são definidos como sendo “qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer” designadamente os indicados na Lista Europeia de Resíduos (LER).

Segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011, os resíduos podem ser classificados segundo a sua origem. No entanto, também é possível classificá-los de acordo com as suas características e origem, segundo o disposto na LER, como se pode verificar na Figura 6.

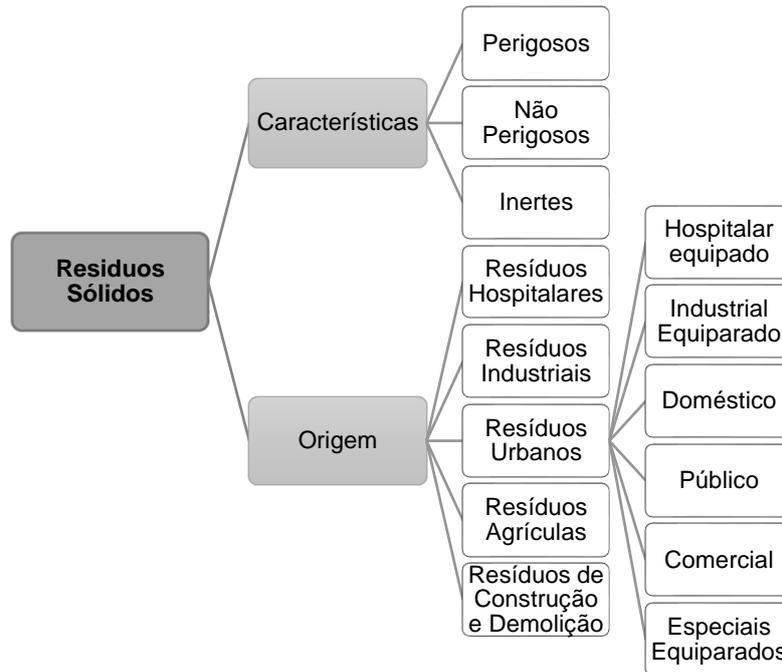


Figura 6 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a sua origem e características [7].

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Segundo o artigo 3.º do Decreto de Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho de 2011 os RSU são definidos como sendo “resíduos provenientes de habitações, bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes das habitações”.

Como se pode verificar na Figura 6, os resíduos hospitalares, comerciais e industriais, que apresentem características semelhantes aos resíduos domésticos e que não representem perigo para a saúde pública e para o ambiente, são equiparados aos resíduos domésticos e é permitido ser-lhes aplicado o mesmo tratamento, fazendo assim parte dos RSU.

A composição dos resíduos pode ser enumerada como sendo os componentes individuais que constituem um fluxo de resíduos e a sua distribuição, recorrendo-se geralmente a valores percentuais em peso. Esta caracterização é fundamental para conhecer as suas características e o seu comportamento quando submetidos a tratamento, valorização ou deposição em aterro [12].

De acordo com especificações técnicas da Portaria n.º 851/2009, de 7 de Agosto, a composição dos RSU em Portugal no ano 2015, é composto maioritariamente por 40% de

bioresíduos, seguido pelo plástico que representa 13% da sua composição, papel/cartão na ordem dos 11%, resíduos finos 8,5%, vidro e têxteis sanitários que representam 7,1% e 8% respetivamente, têxteis e compósitos na ordem dos 4%. Os metais, os resíduos volumosos, os resíduos verdes e os resíduos de madeira estão na faixa dos 2,5 aos 0,7%, sendo que ainda há cerca de 1,6% de resíduos classificados como outros (Figura 7).

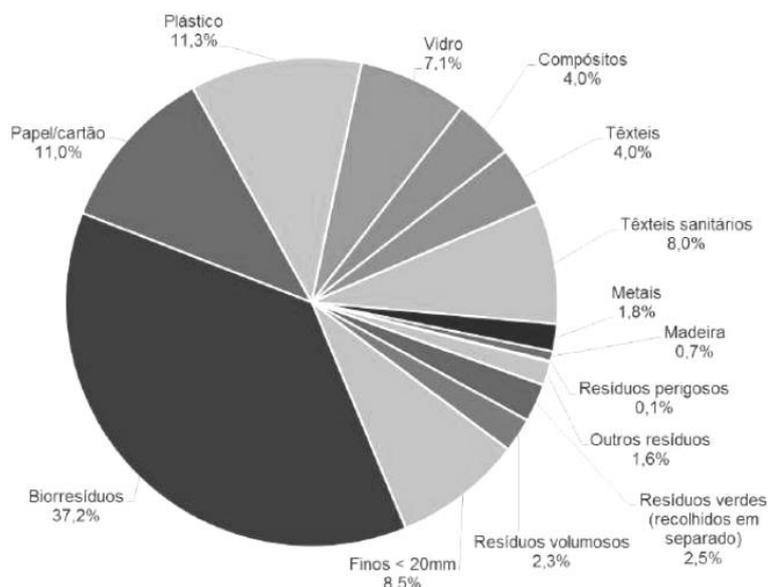


Figura 7 - Caracterização física dos RSU produzidos em Portugal Continental no ano de 2016 [6, p.42].

O RSU é um material heterogéneo e a sua composição física tem características que pode variar entre as diferentes regiões ou continentes, conforme o seu nível socioeconómico e condições climáticas e as suas propriedades físicas e químicas. Neste sentido, a caracterização é uma das etapas iniciais para uma gestão eficiente integrada de resíduos, bem como para o dimensionamento de unidades de deposição, tratamento/valorização/reciclagem [13].

2.4 PROBLEMÁTICA DOS RSU

Os resíduos sólidos não são um problema recente e é cada vez mais uma questão com que as sociedades modernas se deparam. Em 2011, foram produzidos cerca de 2 bilhões de ton a nível mundial. Espera-se ainda que se atinjam 9,5 bilhões por ano em 2050 [14]. Segundo a Diretiva 1999/31/CE do Conselho de 26 de Abril de 1999, os resíduos são

definidos como sendo resíduos domésticos ou outros que pela sua natureza e composição são similares aos domésticos. Atualmente, uma das preocupações da UE é a elevada percentagem de resíduos biodegradáveis que são ainda depositados em aterro.

De acordo com a Figura 8, em 2016, foram gerados cerca de 480 Kg/*per capita* de resíduos na UE, o que representa um decréscimo de 7,7% relativamente a 1995, e apesar de haver objetivos claros para a sua redução, a tendência tem sido para este valor aumentar para alguns países da UE. Neste sentido o Parlamento Europeu emitiu uma comunicação que tem como um dos objetivos eliminar praticamente a deposição em aterro até 2030 e que evidencia que a valorização energética, incluindo a valorização de resíduos para a produção de energia e a utilização de biocombustíveis, terá um papel a desempenhar no que respeita aos resíduos não reutilizáveis e não recicláveis [15].

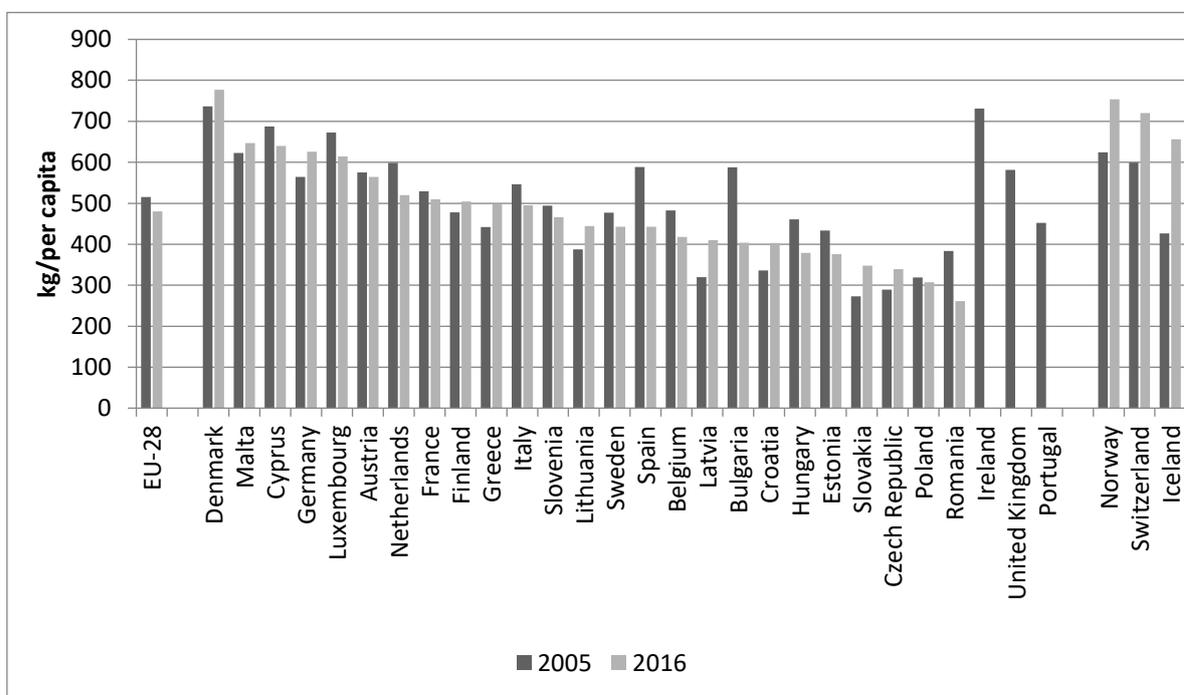


Figura 8 - Resíduos municipais gerados por país em 2005 e 2016, classificados até 2016 (kg/*per capita*) [14].

Como se pode ver na tabela 1 no período de referência, o total de resíduos municipais depositados na UE caiu em 86 milhões de ton, ou 59%, de 145 milhões de ton (302 kg/*per capita*) em 1995 para 59 milhões de ton (116 kg/*per capita*) em 2016. Como resultado, a quantidade de resíduos reciclados aumentou de 25 milhões de ton em 1995 para 71 milhões de ton em 2016.

A incineração de resíduos também cresceu de forma constante no período de referência, embora não tanto quanto a reciclagem e compostagem. Desde 1995, a quantidade de resíduos urbanos incinerados na UE aumentou 34 milhões de ton, ou seja, 105%, e representou 66 milhões de ton em 2016.

Resíduos urbanos depositados em aterro, incinerados, reciclados e compostados na UE-28																		
	1995	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Variação (%) 1995-2016
Megaton																		
Aterrados	145	136	132	125	118	110	108	106	99	96	92	84	76	70	66	61	59	-59
Incinerados	32	40	41	41	44	48	51	52	55	56	57	60	59	62	64	65	66	105
Reciclados	25	42	46	47	49	52	54	59	60	61	62	64	65	65	68	71	71	184
Compostados	14	24	26	26	28	29	31	32	35	35	35	35	36	37	38	39	40	184
Outros	10	12	12	12	13	16	13	11	10	7	6	6	6	6	6	7	8	-24

Tabela 1 - RSU, incinerado, reciclado e compostagem na UE-28, 1995 a 2016 [14].

Em Portugal, só em 1996 foi aprovado o Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), o qual permitiu caracterizar a situação de referência da gestão de RSU. O plano possibilitou estimar o esforço financeiro e os meios humanos e materiais para o encerramento das 302 lixeiras, e a constituição de cerca de 50 sistemas municipais ou multimunicipais. O PERSU estabeleceu como metas de curto prazo que até ao ano 2000 houvesse uma redução na produção de RSU de 2,5%, a compostagem e a reciclagem atingissem no total os 30%, a valorização energética (incineração) permitisse tratar 26% dos resíduos, e que os restantes 41,5% fossem depositados em aterro sanitário. Neste sentido, o plano privilegia a valorização dos RSU, através da reciclagem, compostagem e valorização energética. Desta forma reduzia consideravelmente a deposição em aterros sanitários [16].

Em 2016 foram produzidos em Portugal, 4 891 ton de RU, mais 3% do que em 2015. Supostamente esse aumento pode estar relacionado com a melhoria da situação económica de Portugal.

Região\Ano	2011	2012	2013	2014	2015	2016
	Milhares de Ton					
Portugal Continental	4 888	4 525	4 363	4 474	4 523	4 640
Região Autónoma da Madeira	124	114	106	110	110	119
Região Autónoma dos Açores	147	143	139	136	132	132
Total	5 159	4 782	4 608	4 719	4 765	4 891

Tabela 2 - Quantificação de RU produzidos em Portugal(10^3) [6. p.39].

No ano de 2016, em Portugal Continental, apurou-se uma capitação de 472 Kg/hab.ano abaixo da média Europeia (476 kg/hab.ano). Incluindo os quantitativos das Regiões Autónomas a este valor, verifica-se uma subida para 474 kg/hab.ano.

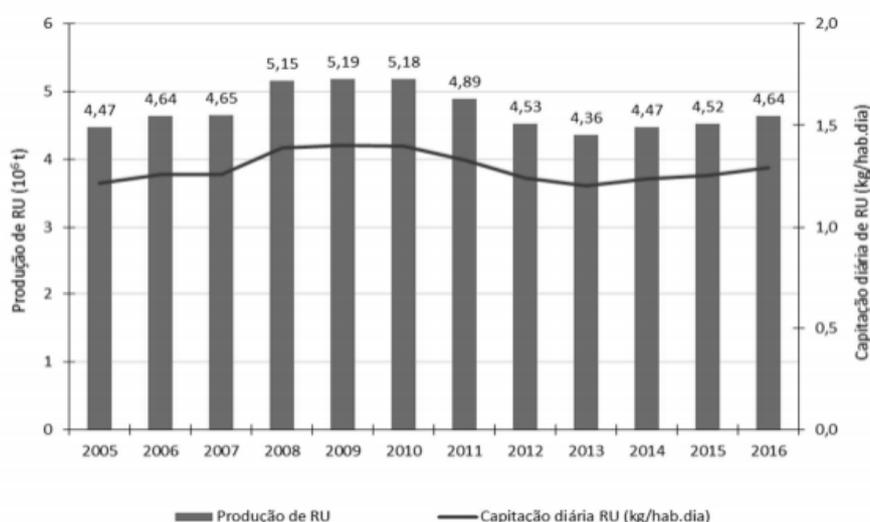


Figura 9 - Evolução da produção e da capitação dos resíduos urbanos em Portugal Continental [17, p.40].

Pode-se verificar que em Portugal, com a aplicação da gestão dos resíduos, estes têm diminuído em aterros, nos quais se regista uma diminuição de 31% relativamente a 2011, enquanto se verifica um aumento de 2% para a valorização energética e sendo a restante fração encaminhada para valorização orgânica ou material (ver Figura 11).

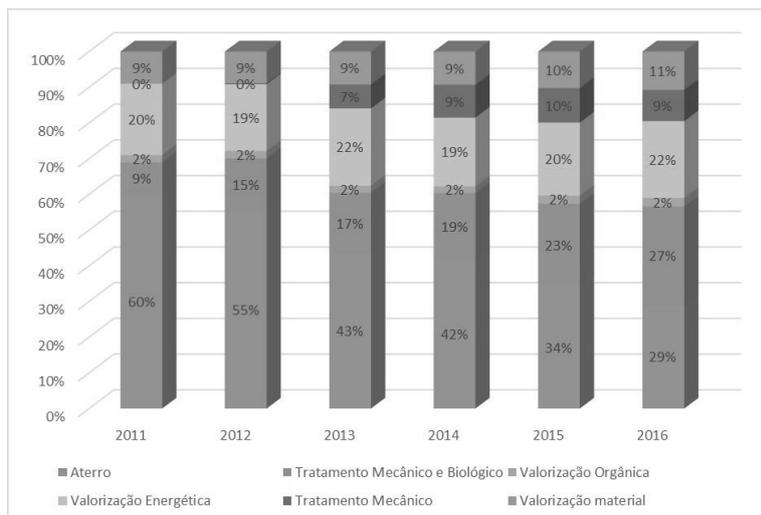


Figura 10 - Destino direto dos RU [17, p.47].

CAPÍTULO III: PROCESSOS DE CONVERSÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS

O principal objetivo da gestão de resíduos passa principalmente pela recuperação de material e de energia, e só em último recurso a eliminação dos resíduos [18]. A conversão termoquímica envolve o tratamento térmico da matéria orgânica presente nos RSU, de modo a produzir energia térmica ou combustíveis (p.e., gasosos). Normalmente as tecnologias de conversão térmica são utilizadas para secar os resíduos [18].

Os processos de conversão termoquímica atualmente utilizados no tratamento de resíduos, através da utilização de temperaturas e/ou pressões elevadas, são a gasificação, a pirólise e a incineração [18].

3.1 GASIFICAÇÃO

A gasificação é um processo destinado a converter um combustível sólido - resíduos sólidos no caso específico - num combustível gasoso. A gasificação ocorre em condições redutoras, conseguidas através de restrições oxidantes, normalmente através da injeção de ar [18], [19]. A gasificação dos resíduos sólidos é um processo complexo baseado em várias interações físicas e químicas e, em geral, ocorre a temperaturas superiores a 600°C [18].

3.2 PIRÓLISE

A pirólise consiste na degradação térmica dos RSU na ausência de oxigénio, vaporizando os componentes voláteis, para produzir carvão, água, dióxido de carbono, óleos e gases combustíveis [18]. Este processo consiste numa destilação destrutiva em que os produtos obtidos são constituídos por um sólido e um gás. Na pirólise, o calor é adicionado a uma alimentação complexa de material orgânico, obtendo-se assim gás metano (CH_4), líquido etileno (C_2H_4) e carbono que são combustíveis utilizados frequentemente [18].

3.1 INCINERAÇÃO

A incineração é um processo que permite destruir os resíduos por via térmica, recuperando energia da combustão. A incineração é um processo que converte resíduos combustíveis em resíduos não combustíveis através de um processo que ocorre a altas

temperaturas (600-1100°C). Este processo permite reduzir significativamente a massa e o volume do material inicial (até 90%) [20].

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

O processo de incineração desencadeia-se em duas fases. Na primeira fase dá-se a secagem dos resíduos, os quais são introduzidos na câmara de combustão de incineração primária, seguindo-se a desvolatilização¹ e finalmente a incineração, geralmente sobre um suporte de grelhas, atingindo uma temperatura de cerca de 900°C, do que resulta um resíduo sólido incinerado (escória) e uma mistura de gases e pequenas partículas [20].

Enquanto as escórias são descarregadas, os gases resultantes da combustão primária, eventualmente contendo produtos de combustão incompleta, são depois sujeitos à adição de mais ar de combustão (ar secundário), na câmara secundária (*afterburner*), onde a atmosfera é oxidada de forma a garantir um excesso de ar entre 50 a 75%, na qual as temperaturas não devem ser inferiores a 850°C podendo atingir 1250°C, de forma a garantir a destruição completa dos produtos gasosos de combustão primária [20].

De modo a promover a turbulência e reduzir as emissões de inqueimados, é introduzido ar secundário na câmara secundária através de injetores situados acima da massa em combustão [20]. De seguida o efluente gasoso resultante da câmara secundária, e após o seu arrefecimento, é submetido a um conjunto de processos de controlo de poluentes atmosféricos, antes de serem enviados para a atmosfera pela chaminé, sendo estes a remoção dos gases ácidos num reator (lavador húmido, ou semi- -seco), a remoção de partículas (precipitador eletrostático, ou filtro de mangas), a remoção de óxidos de azoto (por adição de NH₃) e o controlo de emissão de PAH's e Hg (adição de carvão ativado).

Por fim, a energia térmica libertada durante a combustão é recuperada a partir do arrefecimento dos gases de combustão por transferência de calor sensível para um fluido operante, geralmente a água, produzindo vapor a alta temperatura e alta pressão, após o que é sujeito a expansão numa turbina para gerar energia mecânica, permitindo assim produzir energia elétrica e/ou calor [20].

¹Processo onde a matéria orgânica é decomposta após ser submetida a condições de altas temperaturas e ambiente desprovido de oxigénio.

3.1.2 TECNOLOGIAS DE INCINERAÇÃO

O estado físico, a dimensão dos resíduos a incinerar, o teor de humidade e de cinzas e o poder calorífico dos RSU ditam qual o tipo de tecnologia de incineração mais indicada. Os tipos de tecnologias existentes incluem os incineradores de grelhas móveis, os leitos fluidizados, o forno rotativo, entre outros. Cerca de 90% das centrais de valorização energética de RSU existentes na Europa utilizam incineradoras de grelhas [21].

3.1.2.1 GRELHAS MÓVEIS

A queima em grelhas móveis é um método de combustão clássico, tradicionalmente chamado de "*massburning*" diretamente relacionado com combustão de resíduos [21]. Este tipo de tecnologia é utilizado principalmente na combustão de biomassa, resíduos sólidos urbanos e em algumas fornalhas de carvão, podendo ser utilizados combustíveis sólidos de um amplo conjunto de dimensões.

Na Figura 11 observa-se um sistema de combustão em grelha sendo constituído por um sistema de alimentação do combustível, uma entrada de ar primário, um conjunto de grelhas, uma entrada de ar secundário e um sistema de descarga de cinzas. No sistema de grelhas que incorpora cada incinerador, os resíduos são colocados sobre uma grelha móvel, por um mecanismo de alimentação, que os transporta a uma velocidade típica de 0.1 m/min, impulsionados por um mecanismo de rolamentos ou idêntico. À medida que avança, a camada superficial dos resíduos é exposta à radiação das paredes refratárias do forno e às chamas formadas pelos gases voláteis, reduzindo progressivamente o teor de humidade e aumentando a temperatura.

O ar de combustão é adicionado por baixo da grelha, ao longo de diferentes troços. A agitação do material em combustão pela ação dos rolamentos e do ar primário é fundamental para aumentar a taxa de transferência de calor e eliminar volumes vazios existentes na massa em combustão [22], [21]. Por fim, as cinzas (material inerte) são recolhidas no último troço da grelha, juntamente com outro tipo de objetos e metais, sendo depois encaminhadas para aterro ou utilizadas para outro fim [22].

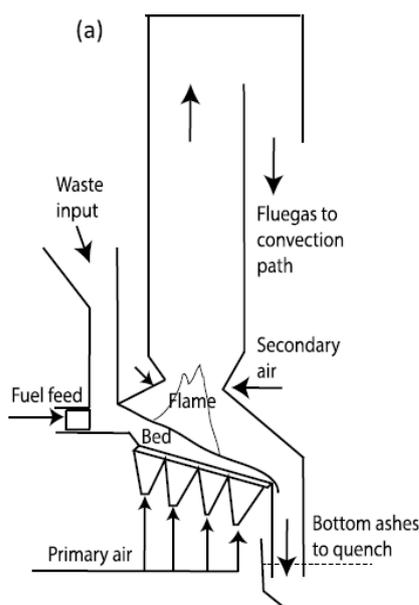


Figura 11 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de grelha móvel [22, p.15].

3.1.2.2 FORNO ROTATIVO

O forno rotativo tem várias aplicações, como na incineração de resíduos industriais para produzir cimento, combustão de resíduos ou em combinação com processos de gaseificação e pirólise [22]. O sistema de forno rotativo é constituído por um alimentador, um injetor de ar, o próprio forno, uma câmara de pós combustão, um sistema de coletor de cinzas e um sistema de tratamento de gases, como se pode verificar na Figura 12. De modo a atingir a temperatura necessária para o processo, no topo do forno existe um injetor de combustível auxiliar, à base de gás ou *fuel*, que é usado para iniciar o arranque da unidade de incineração. Uma vez que não existe introdução de ar ao longo do comprimento do forno, o processo de combustão num forno rotativo é efetuado em condições de deficiência de oxigénio e de mistura relativamente pobre no espaço acima do leito de combustão.

Já na câmara de pós combustão, situada no final do forno rotativo, como se pode verificar na Figura 12, que opera à temperatura de 1100-1400°C, com excesso de ar de 100 a 200%, completa-se a queima de gases, iniciada no forno rotativo [21], [22].

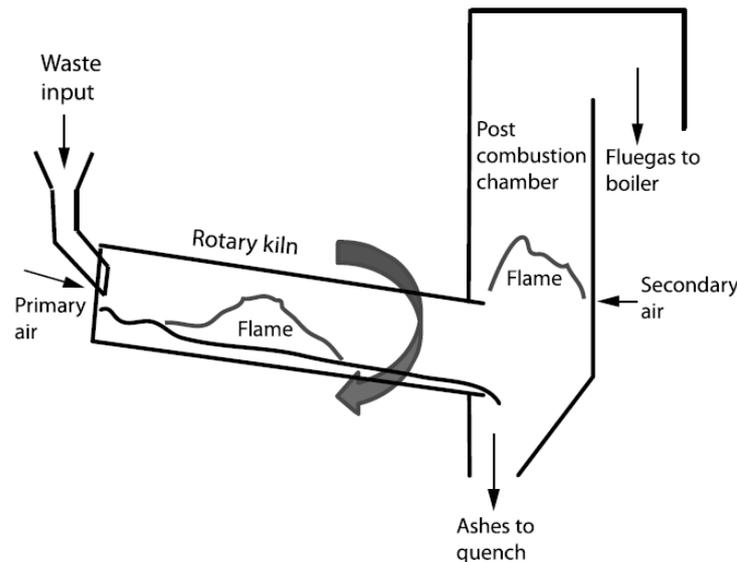


Figura 12 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de forno rotativo [22, p.15].

3.1.2.3 LEITO FLUIDIZADO

Este tipo de tecnologia permite queimar combustíveis ditos de menor qualidade (por possuírem elevado teor de humidade, conteúdo elevado em voláteis e substâncias poluentes) com elevada eficiência e baixo nível de emissões poluentes. Sendo esse aplicado para a incineração de resíduos de tamanho pequeno como CDR e lamas de ETAR [21].

De uma forma geral, os resíduos são colocados sobre uma camada inerte, com uma temperatura uniforme ao longo da superfície da camada. O facto de a camada entrar em fusão (leito fluidificado) faz com que os resíduos sejam misturados facilmente com o material inerte, promovendo uma melhor homogeneização das condições de oxidação, mas por outro lado, envolvendo a formação de material oxidado não-volátil no decorrer do processo [21], [22].

Comparativamente com os sistemas de grelha móvel, o calor disponível resultante da combustão dos resíduos (ou gasificação) permanece maioritariamente à superfície, a temperaturas na ordem dos 850 a 950°C [22].

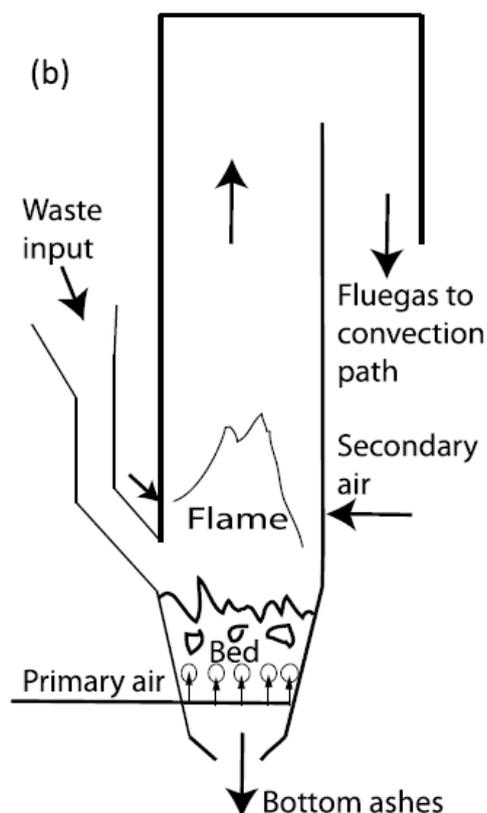


Figura 13 - Sistema de conversão térmica com tecnologia de leito fluidizado [22, p.15].

3.1.3 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

A recuperação de energia a partir de processos de incineração de resíduos tem como objetivo a produção de trabalho mecânico, geralmente sob a forma de energia elétrica para consumo interno e introdução na rede pública de distribuição, e ainda a produção de calor residual utilizado em aplicações de produção de vapor de baixa entalpia, aquecimento de ar ou água quente para o consumo industrial e/ou doméstico [23].

A partir de tecnologias de turbinas, a incineração permite recuperar cerca de 35% da energia sob a forma de eletricidade, sendo que a remanescente é perdida na forma de calor para o meio ambiente, enquanto a partir de sistemas de recuperação combinada de energia sob forma de calor e de eletricidade é possível obter eficiências de 85% da energia disponível nos resíduos [23].

Através de caldeiras apropriadas para a incineração de resíduos (como parâmetros moderados de operação) é possível recuperar cerca de 80% da energia presente nos resíduos, tanto para sistemas de recuperação de energia sob a forma de calor como sob a forma de eletricidade. A partir de sistemas de recuperação de energia sob forma de calor

e de eletricidade é possível recuperar entre 60-65% de energia sob a forma de calor e 20-25% de energia sob a forma de eletricidade [23]. Estes valores encontram-se resumidos na Tabela 3.

Sistema de recuperação de Energia	Recuperação de energia	Eficiência de recuperação global	
Calor	Calor	80%	80%
Vapor	Vapor	80%	80%
Eletricidade	Eletricidade	35%	35%
Vapor e eletricidade	Vapor	0-75%	35-75%
	Eletricidade	0-35%	
Eletricidade e calor	Calor	60-65%	85%
	Eletricidade	20-25%	

Tabela 3 - Eficiência para diferentes tipos de recuperação de energia [18].

3.1.3.1 PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Na câmara de combustão (fornalha) existem zonas com chama, onde ocorre a transferência de calor por radiação e por convecção. Nas restantes zonas, em que os tubos estão em posição perpendicular ao fluxo de gases, a convecção é a forma de transporte de calor mais importante, permitindo a produção de vapor saturado. A zona do economizador tem normalmente a função de pré-aquecer a água para a caldeira [21].

Como se pode verificar na Figura 14, na geração de vapor é possível diferenciar-se três áreas de troca de calor [21]:

- **Economizador** (representado na Figura 14 como área 7): nesta área, a água de alimentação da caldeira é aquecida pelos gases de combustão a uma temperatura próxima ao ponto de ebulição.
- **Evaporador** (representado na Figura 14 como área 6): nesta área, a água proveniente do economizador é aquecida até atingir a temperatura de vapor saturado.
- **Caldeira** (representado na Figura 14 como área 5): nesta área o vapor proveniente do evaporador é sobreaquecido até à temperatura final.

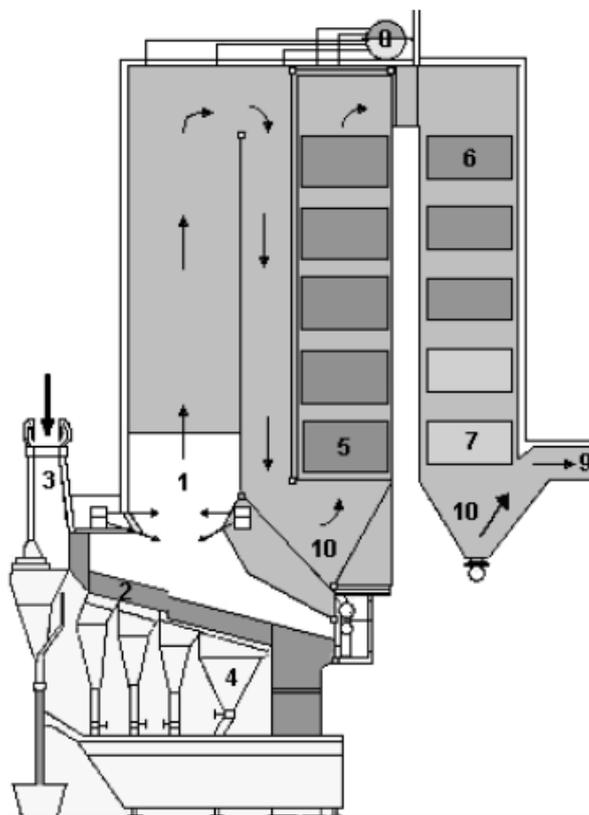


Figura 14 - Ilustração das áreas de troca de calor [21, p.89].

Quando se determinam parâmetros de vapor a partir de caldeiras de resíduos é necessário definir um compromisso. Isso ocorre porque, embora ao selecionar altas temperaturas e pressões de forma a aproveitar melhor a energia contida nos resíduos, esses parâmetros de vapor mais altos podem levar a problemas de corrosão significativamente aumentados, especialmente nas superfícies da caldeira e do evaporador. Nas incineradoras de RSU é comum usarem-se 40 bar e 400°C, quando há produção de eletricidade, embora sejam utilizados valores mais elevados em alguns casos [21].

3.1.3.2 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA MECÂNICA E DE CALOR

No caso dos combustíveis sólidos (e.g. carvão ou RSU) a tecnologia de recuperação de calor a partir de um sistema de combustão passa geralmente pelo uso de um ciclo de vapor, também conhecido como ciclo *Rankine*, usando como fluido circulante água/vapor de água. Através de uma turbina o fluido circulante é movimentado produz trabalho de expansão. Já na bomba, essa consome trabalho mecânico de compressão de

líquido, enquanto na caldeira recebe calor e no condensador cede calor. Através do trabalho de expansão produzido pela turbina é gerado trabalho mecânico líquido sob a forma de trabalho de veio da turbina que pode ser utilizado para movimentar um alternador de geração de energia elétrica e assim entregar potência elétrica à rede de distribuição de energia elétrica. Para além do trabalho mecânico também é possível recuperar calor, sob a forma de extração de vapor de baixa pressão [18], [23].

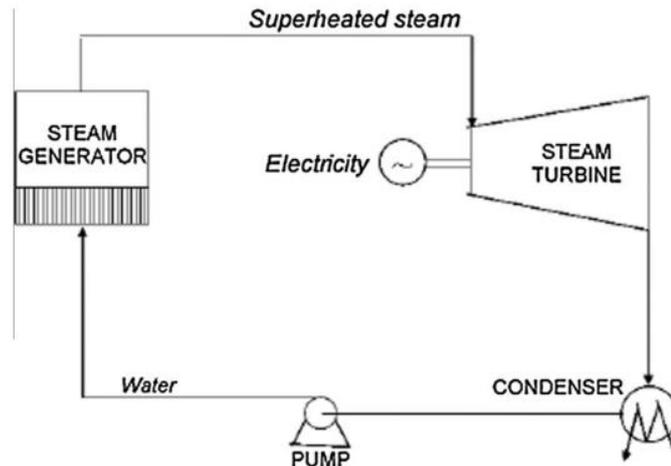


Figura 15 - Ciclo de vapor (Ciclo Rankine) simples [12, p.29].

3.1.4 CONTROLO E TRATAMENTO DE EMISSÕES

Através do processo de incineração são produzidas substâncias sólidas e gasosas, algumas das quais poluentes, que exigem dispositivos de tratamento adequado [21].

As substâncias sólidas produzidas podem ser divididas em dois grupos [21]:

- Escórias: subproduto direto da combustão que representa a maior parte dos sólidos; estas apresentam um baixo grau de perigosidade. Este tipo de produtos pode ser reutilizado como um componente na construção de estradas e na produção de betão, não tendo necessariamente como destino o aterro.
- Cinzas volantes: provenientes de processos de tratamento de efluentes gasosos e ricos em metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, dioxinas e furanos, o que faz com que apresentem um elevado nível de perigosidade. Estes produtos são geralmente sujeitos a processos de estabilização e/ou solidificação para posterior deposição em aterros específicos para este tipo de resíduos.

Os principais produtos gasosos produzidos, após os processos de tratamento de efluentes gasosos são: CO_2 , CO , HCl , HF , H_2O , O_2 , SO_x , metais pesados, dioxinas e furanos [21]. O controlo de emissões gasosas nas centrais de incineração é constante, uma vez que o DL nº 127/2013 de 30 de agosto estabelece valores limite de emissões, expresso em mg/Nm³ (considerando um teor em O₂ de 6 %) para as médias diárias, como podemos verificar na Tabela 4. Isso torna essencial a aplicação de um sistema de remoção de partículas dos gases de exaustão em todas as instalações de incineração.

Poluente	VLE para médias diárias
Partículas totais	10,00
Substâncias orgânicas em forma gasosa e de vapor, expressas em carbono orgânico total (COT)	10,00
Cloreto de Hidrogénio (HCl)	10,00
Fluoreto de Hidrogénio (HF)	1,00
Dióxido de enxofre (SO_2)	5,00
Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2), expressos como (NO_2), relativamente a instalações de incineração de resíduos existentes de capacidade instalada superior a 6 ton por hora ou a instalações de incineração de resíduos novas	200,00
Monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO_2), expressos como (NO_2), relativamente a instalações de incineração de resíduos existentes de capacidade instalada igual ou inferior a 6 ton por hora	400,00

Tabela 4 - Valores limite de emissão (VLE) para as médias diárias [24].

Uma parte considerável, do investimento total com equipamentos neste tipo de instalações diz respeito à unidade de tratamento de gases. Os gases de combustão após serem arrefecidos, através do processo de recuperação de energia, são inicialmente conduzidos para um reator de absorção onde é adicionado hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) (cal hidratada), que permite a neutralização de componentes ácidos nomeadamente HCl, HF, NO_x e SO_2 sob a forma de sais de cálcio. No reator de absorção também é inserido carvão ativo, que por sua vez permite absorver dioxinas, furanos e metais pesados, nomeadamente chumbo, cádmio e mercúrio. Contudo a cal utilizada na neutralização não

é suficiente para evitar a formação dos NO_x , e deste modo, torna-se necessário a injeção de uma solução de amónia na câmara de combustão, de modo a evitar a formação de óxidos de azoto.

Posteriormente, os gases provenientes do reator são direcionados para filtros de mangas, de modo a reter a matéria particulada que resta na corrente gasosa. Finalmente os gases já tratados são eliminados para o exterior através de uma chaminé. Deste modo os gases que são expelidos pela chaminé são praticamente incolores [21], [25].

CAPÍTULO IV: INDICADOR DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA R_1

Segundo o Regime Geral de Gestão de Resíduos em vigor, publicado no Decreto-Lei 73/2011, os princípios de gestão de resíduos estabelecem como prioridade a prevenção e redução da produção de resíduos, a reutilização e reciclagem multimaterial, seguida de outro tipo de valorização nomeadamente valorização energética, ficando como última prioridade a eliminação, nomeadamente em aterro sanitário [26].

Tendo em conta os danos causados no meio ambiente, nomeadamente a poluição do solo e da água e a perda de recursos, a eliminação de resíduos deve ser sempre a última opção de gestão de resíduos, devendo esta opção restringir-se ao mínimo indispensável [26].

A diretiva das energias renováveis (Diretiva 2009/28/EC) aponta direções claras sobre a evolução energética ambiental da Europa. Estabelece metas concretas para a substituição dos combustíveis tradicionais com fontes renováveis nos transportes e na produção de energia, para a redução de emissões de CO_2 e para a eficiência da utilização dos recursos energéticos, constituindo um marco importante para a difusão de sistemas integrados de valorização energética e ambiental dos resíduos [27].

Segundo a diretiva 2001/77/CE, a incineração de resíduos urbanos separados deve ser promovida no âmbito de um futuro sistema de apoio às fontes renováveis, sempre que essa promoção não puser em causa a hierarquia de tratamento de resíduos. No entanto, tal afirmação não se aplica quando a incineração de resíduos é classificada como uma operação de eliminação (D10) [28].

A incineração pode ser considerada uma operação de valorização, quando a sua eficiência de conversão for suficientemente elevada. Ou seja, segundo a Diretiva Quadro dos Resíduos (Anexo II da Diretiva nº 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008) e (Anexo II do DL nº 73/2011 de 17 de Junho) que define o nível mínimo de eficiência energética de conversão de energia R_1 , expresso numa base anual (aqui designada abreviadamente como fórmula de eficiência energética R_1), a incineração de RSU pode ser classificada como de valorização ou como de eliminação de resíduos, dependendo da eficiência energética à qual a operação ocorre [26], [29]. Este fator é importante para materializar o conceito de eficiência energética, que traduz, em último caso, a capacidade da unidade de tratamento térmico em gerar energia, ou seja, a sua componente de valorização.

Contudo para efeitos normativos apenas se pode considerar como operação de valorização (R1) uma unidade de tratamento térmico que tenha um indicador de recuperação de energia R_1 , superior ou igual a 0,60 para instalações em funcionamento e licenciadas nos termos da legislação comunitária aplicável antes de 1 de Janeiro de 2009, ou de 0,65 para instalações licenciadas após 31 de Dezembro de 2008, por recurso à fórmula:

$$R_1 = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \times (E_w + E_f)} \leftrightarrow R_1 \geq 0,65 \quad (1)$$

onde,

E_p - representa a energia anual produzida sob a forma de calor ou eletricidade. É calculada multiplicando por 2,6 a energia sob a forma de eletricidade e por 1,1 o calor produzido para uso comercial (GJ/ano), resultando na seguinte fórmula [9]:

$$E_p = 1,1 \times E_{th} + 2,6 \times E_{el} \quad (2)$$

onde,

E_{th} - energia produzida sob a forma de calor (GJ/ano)

E_{el} - energia produzida sob a forma de eletricidade (GJ/ano)

E_f - representa a entrada anual de energia no sistema a partir de combustíveis que contribuem para a produção de vapor, podendo ser obtido somando os produtos de cada fluxo de combustível pelo seu poder calorífico inferior (PCI) [9]:

$$E_f = \sum m_{fuel,i} \times PCI_{fuel,i} \quad (3)$$

onde,

$m_{fuel,i}$ - massa de combustível utilizada (ton/ano)

$PCI_{fuel,i}$ - poder calorífico inferior dos combustíveis utilizados (GJ/ton)

E_w – representa a energia anual contida nos resíduos tratados calculada utilizando o valor calorífico líquido dos resíduos [9]:

$$E_w = m_{waste} \times PCI_{waste} \quad (4)$$

onde,

m_{waste} – massa de resíduos incinerados (ton/ano)

PCI_{waste} - poder calorífico inferior dos resíduos (ton/GJ)

E_i - representa a energia anual importada com exclusão de E_f e E_w e 0.97 é um fator que representa as perdas de energia nas cinzas de fundo e por radiação [9].

Segundo a diretiva (EU) 2015/1127 da Comissão de 10 julho de 2015 que altera o Anexo II da Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas, que define que as condições climáticas locais na União Europeia influenciam as quantidades de energia que podem ser tecnicamente utilizadas ou produzidas sob a forma de eletricidade, calor, frio ou vapor por instalações de incineração dedicadas ao processamento de resíduos sólidos urbanos. Assim sendo, a diretiva mencionada anteriormente vem compensar as instalações de incineração afetadas pelas condições climáticas locais aplicando um fator de correção climática (FCC) à fórmula R_1 . O valor da fórmula da eficiência energética é multiplicado por um fator de correção climática (FCC), como indicado a seguir [30].

O FCC para as instalações licenciadas após 31 de agosto de 2015 e para as instalações visadas no ponto 1 após 31 de dezembro de 2009, será:

$$FCC = 1 \text{ se } GDA \geq 3\,350 \quad (5)$$

$$FCC = 1,12 \text{ se } GDA \leq 2\,150 \quad (6)$$

$$FCC = -\left(\frac{0,12}{1200}\right) \times GDA + 1,335 \text{ quando } 2\,150 < GDA < 3\,350 \quad (7)$$

onde,

$$GDA = (18\text{ }^{\circ}\text{C} - T_m) \times d \quad (8)$$

sendo,

$T_m = \frac{T_{min} + T_{max}}{2}$, se o valor obtido for inferior ou igual a 15°C (limiar de aquecimento) assume-se um valor nulo; se T_m for superior a 15 °C então utiliza-se o valor obtido.

d – número de dias por ano

A eficiência total de uma unidade de incineração depende do uso final que se dá à energia que foi recuperada. Além disso, a eficiência deste tipo de processos depende fortemente do Poder Calorífico Inferior (PCI) dos materiais a serem incinerados. Um método, que permite um cálculo muito simples mas confiável (+/- 5%) do PCI (Poder Calorífico Inferior) dos resíduos é mostrado na seguinte equação (9), onde as perdas de calor são levadas em consideração. Os dados necessários para o cálculo estão geralmente disponíveis em unidades de incineração, e são medidas ou calculadas a partir de figuras de dimensionamento, como parâmetros de vapor [16].

$$PCI = \frac{1.133 \times \frac{m_{stw}}{m} \times c_{stx} + 0.008 \times T_b}{1.085} \quad (9)$$

onde,

$$m_{stw} = m_{stx} - (m_f \times \frac{c_f}{c_{stx}} \times \eta_b) \quad (10)$$

m_{stw} - quantidade de vapor produzido a partir dos resíduos no mesmo período de tempo para m_{st} (ton)

m_{stx} – quantidade total de vapor produzido num período de tempo definido (ton)

m_f – quantidade de combustível suplementar utilizado no período de tempo correspondente (ton)

m - massa de resíduos incinerados no período de tempo definido (ton)

$c_{st\ x}$ – entalpia do vapor, isto é, a entalpia do vapor ($c_{st\ hp}$) menos a entalpia da água líquida da caldeira ($c_{st\ bw}$) (GJ/ton)

c_f – poder calorífico inferior do combustível suplementar (GJ/ton)

T_b - temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira (°C)

η_b - eficiência térmica da caldeira (aproximadamente 0.80)

0.008 – fluxo específico em gases de combustão a 4 – 12% O₂ de concentração

1,333 e 1,085 - coeficientes da equação de regressão

O cálculo da eficiência energética nas unidades de incineração baseia-se na recuperação de energia a partir da combustão de resíduos. Assim, e de acordo com a Figura 16, tem-se como *inputs* energéticos a energia recuperada nos resíduos para a produção de vapor sem incluir a energia necessária para a recolha e transporte de resíduos e o eventual pré-tratamento.

Outro *input* é a eletricidade e os combustíveis alternativos (e.g. gás natural, diesel, entre outros) utilizados para alimentar os queimadores auxiliares desde que estes sejam usados parcial ou totalmente para que se atinja o nível de energia necessária para o processo de incineração. Ao longo deste processo há a conversão de energia a partir dos resíduos utilizados, e esta energia resultante é usada em *output* ou na circulação no interior do sistema [31].

Os *outputs* energéticos são todos aqueles que resultam do processo de incineração, no qual só se exclui deste a parte que é distribuída e consumida internamente através de dissipações necessárias para a execução do processo. Tem-se ainda em conta a energia utilizada para outros processos, como secagem, aquecimento, entre outros. Para o efeito de cálculo da fórmula R₁ todas as entradas de energia para o processo de incineração incluindo também o tratamento do efluentes gasosos, sob a forma de eletricidade, combustíveis fósseis, e energia dos resíduos a incinerar, considera o poder calorífico inferior dos resíduos [31].

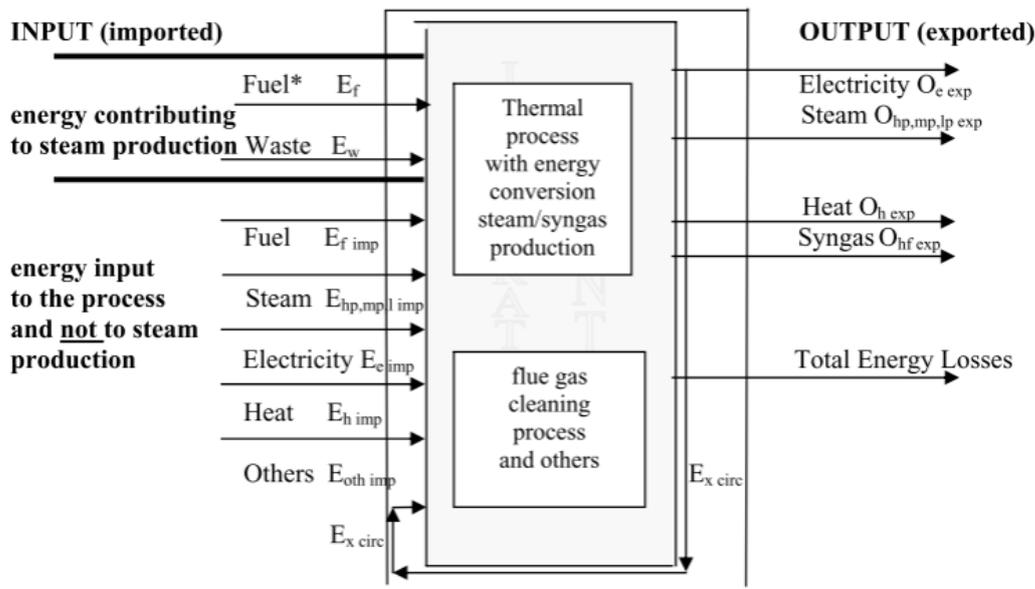


Figura 16 - Fronteira do sistema considerada para a análise de eficiência energética [26, p.5].

Desde 2001 que a CEWEP (*Confederation of Waste to Energy Plants*) tem analisado as unidades de incineração da União Europeia, elaborando relatórios do desempenho energético das unidades incineradoras à luz da fórmula R_1 [32]. É de salientar que nos relatórios da CEWEP, não entra em consideração o FCC para o cálculo da fórmula R_1 , uma vez que todos os relatórios efetuados pela CEWEP são anteriores à diretiva (EU) 2015/1127.

A quantidade de resíduos incinerados pelas 314 unidades de incineração investigadas pela CEWEP dos 15 membros da União Europeia foi de 59.4 milhões Mg/ano, mais 85% relativamente ao primeiro relatório da CEWEP [32]. O aumento da quantidade de RSU incinerados de 52,6 para 63,7 milhões de Mg/ano é de 21% num período de cerca de 4 anos (equivalente a um crescimento 5,3%/ano). Este crescimento está relacionado com a implementação da Diretiva de Aterros da EU (1999/31/CE) e com a Decisão do Conselho Europeu relativa aos critérios de aceitação de resíduos (2003/33/CE)[32]. Entre 2007-2010 a quantidade de RSU incinerados cresceu para 69,5 milhões Mg/ano representando um crescimento de 2,3% ao ano [32].

Como se pode verificar pela Figura 17, o PCI médio ponderado em relação à quantidade total de RSU a ser incinerada pelas 314 unidades teve um aumento significativo de 10 GJ/Mg RSU (entre um mínimo de 7,2 e um máximo de 14,9) no primeiro relatório da CEWEP para 10,3 GJ/Mg de RSU (entre um mínimo de 6,4 e um máximo de 17). As possíveis razões para essa mudança podem ser relacionadas com o pré-tratamento de

resíduos sólidos urbanos, a recolha seletiva, a mudança de sistemas de recolha, as diferentes exigências políticas relativas à gestão de resíduos, os aspetos financeiros, entre outros. Isso também confirma que quanto maior a taxa de reciclagem, maior o PCI dos resíduos residuais [32].

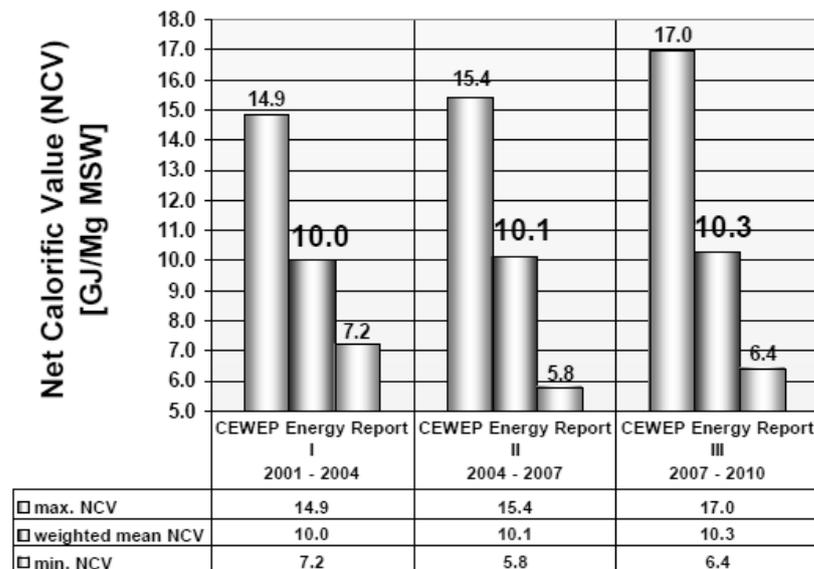


Figura 17 - Ajustamento de PCI de RSU incinerados para o período entre 2001-2010 [27, p.12].

Os valores de PCI médios registados pelas 314 unidades, como é mostrado na Figura 18, dependem do tipo de recuperação de energia, tamanho e localização geográfica da unidade, sendo que estes valores estão na faixa entre 9,6 e 10,6 GJ/Mg RSU, exceto no Norte da Europa com uma média de 11,7 GJ / Mg RSU [32].

Como se pode verificar pela Figura 18 as unidades de incineração que produzem apenas eletricidade registam o menor valor médio de PCI, comparativamente com as unidades que produzem somente calor ou CHP (Produção de Eletricidade e Calor). Isto está relacionado com a sua localização em áreas rurais, incinerando principalmente RSU de residências com baixo conteúdo de resíduos comerciais e industriais [32].

A diferença mais relevante é devida à localização geográfica, porque a menor média de PCI é encontrada em unidades de incineração no sudoeste da Europa, onde há menos possibilidades de usar calor, e que é cerca de 17% menor do que no norte da Europa [32].

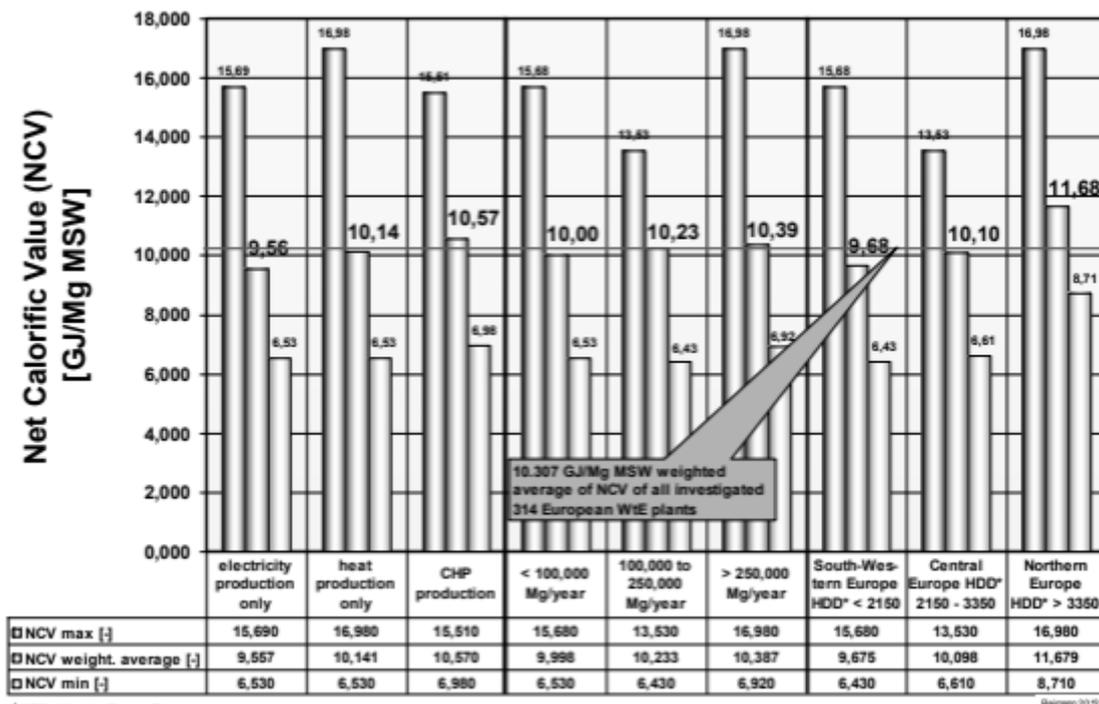


Figura 18 - Poder calorífico inferior calculado para as 314 unidades de incineração (situação 2007-2010) [27, p.13].

A produção total de energia pelas 285 das 314 unidades de incineração consideradas nos relatórios da CEWEP (somente dos países da EU 27), em referência aos anos investigados de 2007-2010, em termos de calor líquido produzido é aproximadamente 54,41 TWh/ano e a eletricidade produzida é de 23,69 TWh/ano. Considerando que o consumo final de energia elétrica entre 2007-2010 foi de 2836-2822 TWh/ano, então a produção das unidades de incineração é de aproximadamente 0,84% do consumo total [20].

De acordo com a Figura 19 pode-se verificar que as 314 unidades de incineração registaram um indicador de recuperação de energia R_1 médio de 0,69 (entre um mínimo de 0,21 e um máximo de 1,37). A fórmula $R_1 = 0,60$, que é o critério estabelecido para as instalações existentes para obter o estatuto de unidade de recuperação de energia é alcançada por 65,6% das unidades de incineração [32].

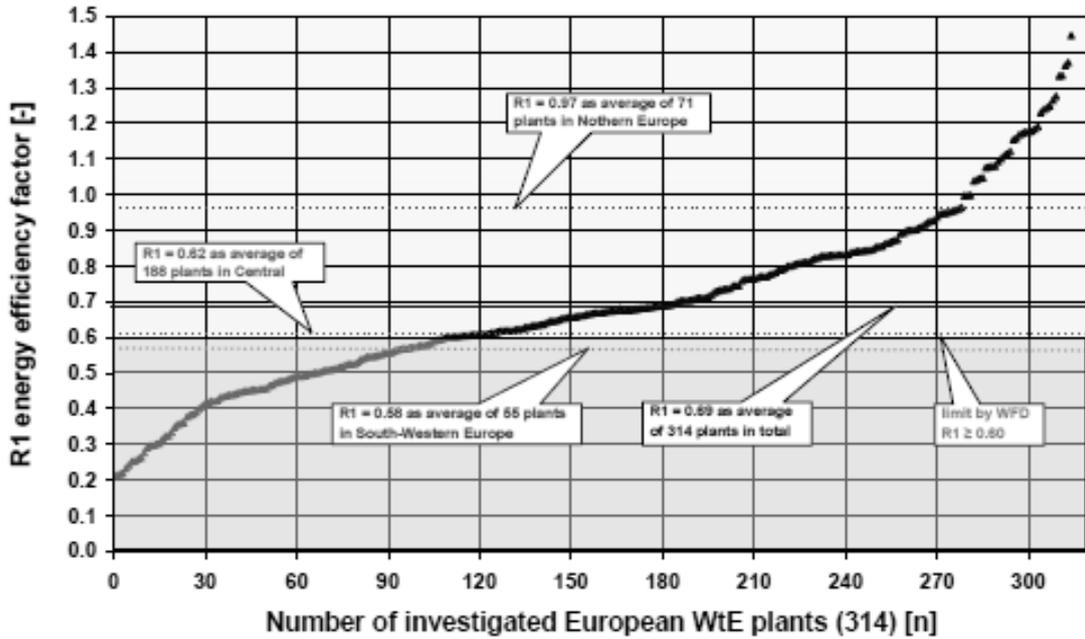


Figura 19 - Fórmula R_1 calculada para as 314 unidades de incineração (situação 2007-2010) [32, p.22].

Como se pode verificar pela Figura 20, as 314 unidades de incineração abrangidas no período de 2007-2010 (relatório III) permitiram alcançar um melhor resultado no que diz respeito ao indicador de recuperação de energia R_1 , comparativamente com o II Relatório para o período de 2007-2010 que abrange 213 unidades de incineração, apesar de haver mais unidades de incineração na Europa de Sul, Ocidental e Central a terem apresentado um indicador de recuperação de energia R_1 menor, sendo que estas têm menos oportunidade de exportar o calor [32].

Como se pode verificar pela Figura 20 as 83 unidades de incineração que produzem apenas eletricidade apresentam um indicador de recuperação de energia médio de 0,55, verificando-se que 37,3% dessas incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$. Embora que as 47 unidades de incineração que produzem apenas calor apresentem um valor médio de $R_1 = 0,64$, apenas 32 unidades atingem $R_1 \geq 0,60$. Neste caso, a importação de energia elétrica para tratar resíduos tem uma influência negativa. Já as 184 unidades de incineração com produção combinada de eletricidade e calor (CHP) atingem o valor médio não ponderado mais alto com $R_1 = 0,76$ de modo que 77,2% das unidades de incineração atingem $R_1 \geq 0,60$ [32].

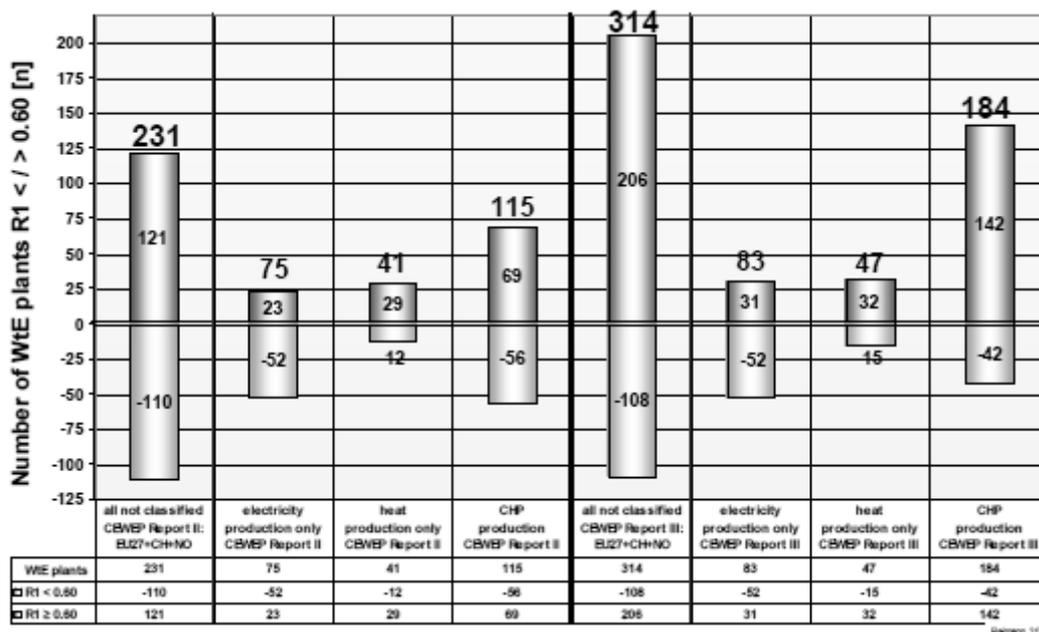


Figura 20 - Comparação da eficiência R_1 de unidades de incineração em função do tipo de recuperação de energia para os períodos de 2004-2007 e 2007-2010 [32, p.5].

Na Figura 21 pode-se observar que em relação à dimensão das incineradoras, as 118 pequenas incineradoras (<100 000 ton RU / ano) têm um indicador de recuperação de energia médio não ponderado de 0,63 (entre um mínimo de 0,21 e um máximo de 1,45), em que 50% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$. Já as 124 incineradoras médias (100 000 ton RU a 250 000 ton / ano) apresentam um indicador de recuperação de energia médio não ponderada de 0,70 (entre um mínimo de 0,22 e um máximo de 1,37), em que 68,5% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$. As 72 incineradoras grandes (> 250 000 ton / ano) têm um indicador de recuperação de energia médio não ponderado de 0,77 (entre um mínimo de 0,36 um máximo de 1,33), em que 86,1% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,600$ [32].

Em analogia à localização geográfica, as incineradoras do sudoeste Europeu, num total de 55, apresentam um indicador de recuperação de energia médio não ponderado de 0,58 (entre um mínimo de 0,21 e um máximo de 1,04), em que 49,1% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$. No entanto, as 188 incineradoras da Europa central registam um indicador de recuperação de energia médio não ponderado de 0,62 (entre um mínimo de 0,22 e um máximo de 1,17), em que 58,5% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$. E por fim as 71 incineradoras da Europa do norte têm um indicador de recuperação de energia médio não ponderado de 0,97 (entre um mínimo de 0,50 e um máximo de 1,45), em que 97,2% das incineradoras atingem $R_1 \geq 0,60$ [32].

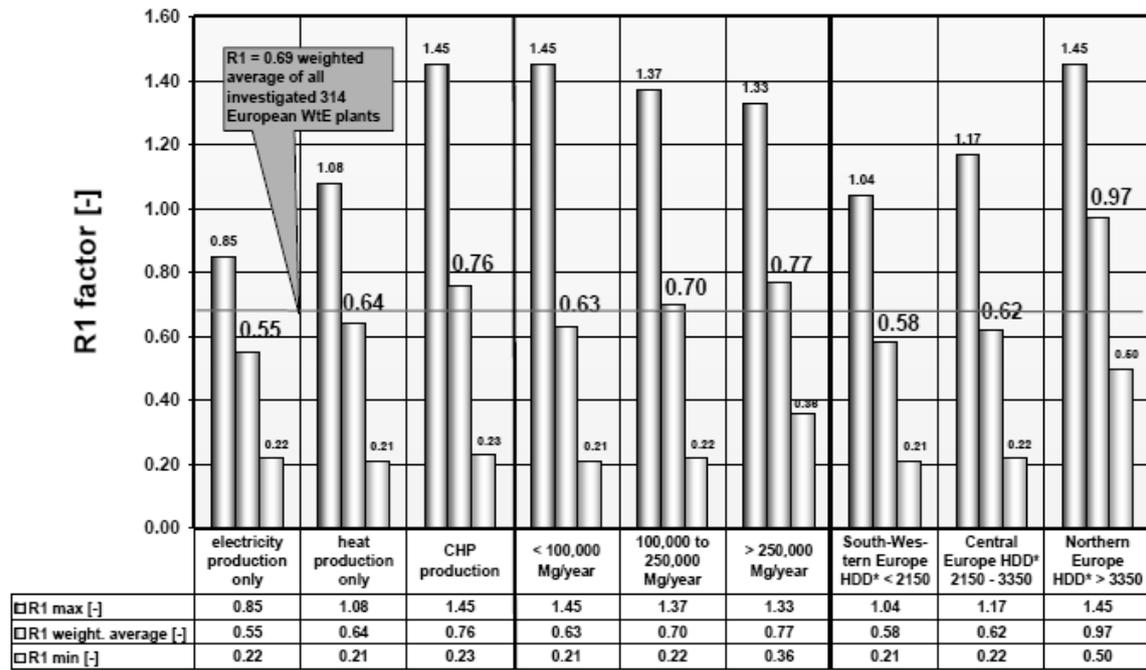


Figura 21 - Eficiência R_1 calculada para diferentes unidades de incineração de resíduos [32, p.24].

Como se pode ver pela Tabela 5, que apresenta o indicador de recuperação de energia estimado através da fórmula R_1 das unidades de incineração para os países da Europa Comunitária, os países nórdicos apresentam valores superiores, devido ao maior aproveitamento do calor do processo de incineração para aquecimento centralizado, pois para países mais quentes o mercado de calor torna-se menos interessante, razão pela qual, na maioria dos casos, as centrais de energia para produção de energia produzem apenas eletricidade [9].

Segundo a Tabela 5, pode-se verificar que das três incineradoras existentes até 2010 em Portugal, sendo que duas se localizam no continente e uma no Arquipélago da Madeira, somente duas têm dados suficientes para o cálculo da fórmula R_1 , as quais apresentam um indicador de recuperação de energia médio de 0,49 não atingindo um $R_1 \geq 0,60$.

Pais	Número de incineradoras existentes	Número de incineradoras existentes com dados suficientes disponíveis	Percentagem de incineradoras existentes com dados suficientes disponíveis (%)	Indicador médio de recuperação de energia (fórmula R ₁)
Grã-Bretanha	22	2	9	-
Áustria	9	4	44	-
Bélgica	18	8	44	-
França	127	57	45	-
Portugal	3	2	67	0,49
Suíça	30	20	67	0,54
Espanha	10	7	70	0,48
Alemanha	68	53	78	0,49
Itália	51	42	82	0,37
Suécia	30	25	83	1,06
Dinamarca	34	31	91	1,04
Noruega	13	12	92	0,87
República Checa	3	3	100	0,88
Finlândia	1	1	100	0,77
Hungria	1	1	100	0,38
Países Baixos	11	11	100	0,55
Total	431	279	65	0,66

Tabela 5 - Eficiência de recuperação de energia calculada através da fórmula R₁ para vários países da UE [9].

Segundo Lui et al. 2018, o nível de recuperação de energia indicado pela fórmula R₁, tornou-se cada vez mais importante para as instalações municipais de incineração de resíduos sólidos na UE [33].

O estudo efetuado por Lui et al. (2018) foca-se em analisar até que ponto a extração de calor com vários produtos de calor de quantidade e quantidade pode influenciar o nível de recuperação de energia. E conclui que o nível de recuperação de energia otimizado de 1,14 pode ser alcançado por meio de extração de vapor de baixa pressão mais um permutador de calor, enquanto para um cenário de extração de vapor de alta pressão a eficiência energética é de 0,83. Os resultados revelam que o ajuste de produção de energia sob a forma de eletricidade para a produção de energia sob a forma de calor afeta de forma positiva o nível de recuperação de energia [33].

A melhoria da eficiência de recuperação de energia dos RSU tem uma grande importância nos meios de conversão de resíduos em energia. Estudos anteriores

concentraram-se no potencial de desperdício de energia a partir dos pontos de vista da tecnologia, como a geração de energia residual. No entanto, há necessidade de investigar as necessidades de melhoria na eficiência da geração de energia residual. Deste modo, Lu Sanet al. 2018 estudaram quatro opções eficientes de gestão de RSU, para um caso de estudo na cidade de Tóquio, Japão, onde foram analisadas as eficiências de recuperação (através da fórmula R_1), os efeitos da redução de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e os custos e benefícios (que inclui o custo total de manutenção, transporte, aquisição de eletricidade, consumo de combustíveis e operação e os benefícios da venda de eletricidade e calor, bem como a redução do consumo de combustíveis fósseis substituído pela utilização de RSU) de cada opção. Os resultados deste estudo mostram, que a incineração de resíduos para a produção de eletricidade e calor tem uma maior eficiência de recuperação de energia (opção 4), seguida pela opção 3 (na qual se utiliza um processo de incineração e de produção de biogás) e opção 2 (processo de incineração de resíduos para a produção de eletricidade, com otimização do sistema existente). Comparando com a opção 1 (processo de incineração de resíduos para a produção de eletricidade) a opção 3 aumenta ligeiramente o custo total, enquanto a opção 4 é a opção mais lucrativa [34].

CAPÍTULO V: CASO DE ESTUDO

A central de valorização energética da ilha Terceira é uma das quatro incineradas existentes em Portugal até a data. Com exceção dos relatórios elaborados pela CEWEP, nos quais foram estudadas mais de 314 unidades de incineração, e o trabalho elaborado por Grosso et al. (2009), ambos não contemplando a recente unidade de incineração de resíduos da ilha Terceira, não existe mais nenhum estudo oficial sobre a fórmula R_1 , tanto quanto foi possível apurar durante a realização deste estudo.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILHA TERCEIRA

A Central de Valorização Energética (CVE) está inserida na Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da Ilha Terceira (CTVRIT) da empresa intermunicipal TERAMB. Em 2016 a CTVRIT dá entrada em funcionamento pleno, dotando a ilha e a região de um conjunto de infraestruturas, nomeadamente ecocentro, central de valorização orgânica, central de valorização de resíduos e centro de processamento de resíduos animais, do aterro de resíduos perigos e da mineração das bolsas antigas do aterro, que em conjunto permitem dar um destino adequado a todos os resíduos que derem entrada na instalação [35].

A TERAMB é constituída pelas participações dos municípios de Angra do Heroísmo (60%) e Praia da Vitória (40%), sendo responsável pela gestão dos resíduos dos referidos municípios e ainda das Ilhas das Flores, Corvo e Santa Maria. A TERAMB é um operador licenciado para a atividade de deposição de resíduos em aterro, incluída na categoria 6.4 do Anexo III do Decreto Legislativo Regional n.º 30/2010/A, de 15 de Novembro, com a operação de eliminação D1, conforme Anexo I do Decreto Legislativo Regional n.º 29/2011/A, de 16 de Novembro [35].

A gestão da TERAMB destina-se à deposição de resíduos urbanos e equiparados, nomeadamente resíduos sólidos domésticos, públicos, comerciais e do sector de serviços, bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos domésticos [35].

5.1.1 RESÍDUOS RECECIONADOS NA CTVRIT

Ao longo do ano de 2017 deram entrada na CTVRIT um total de 41 079,71 ton de resíduos, o que representa um acréscimo em cerca de 3,25% comparativamente a 2016. Como se pode verificar pela Figura 22, os resíduos domésticos têm o maior peso nos resíduos totais que deram entrada na CRVRIT [36], [34].

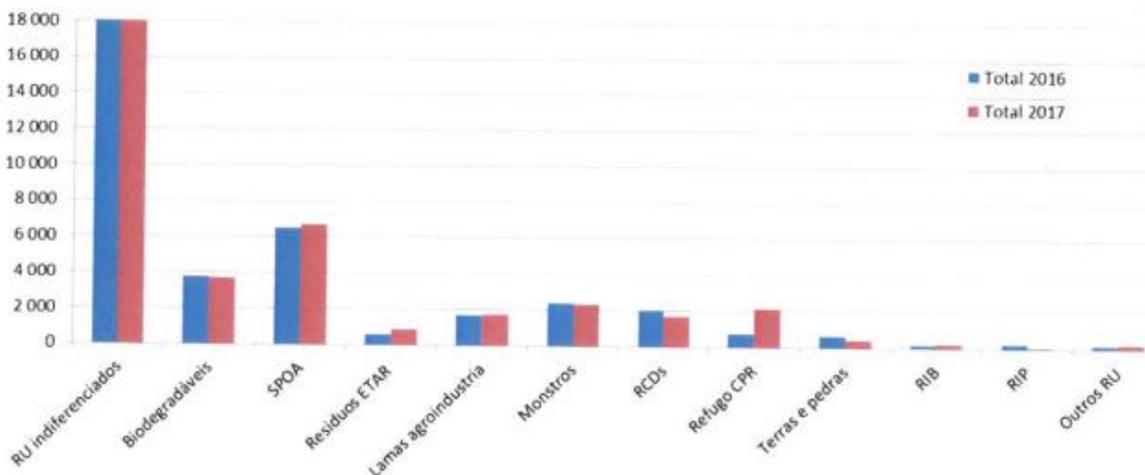


Figura 22 - Quantidade total de resíduos rececionados na CTVRIT entre 2016 e 2017 [34, p.3].

5.1.2 GESTÃO DE RESÍDUOS

A produção total de resíduos urbanos (RU) na ilha Terceira, no ano de 2016, foi de aproximadamente 32 mil ton, tendo-se verificado um decréscimo de cerca de 5 mil ton em relação a 2014 [37].

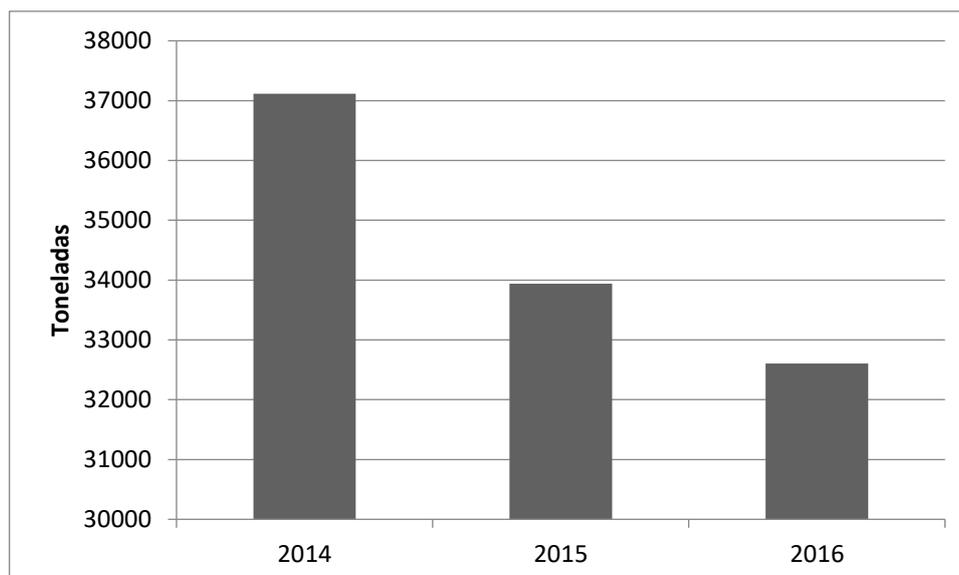


Figura 23 - Produção de Resíduos Urbanos, na ilha Terceira, entre 2014 e 2016 [37].

A gestão integrada de resíduos sólidos passa por vários pilares estruturantes, dos quais se destacam a adoção de sistemas integrados baseados na redução da fonte geradora, a reutilização de resíduos, a reciclagem, a transformação (incluindo a valorização energética e orgânica) e a deposição em aterro dos resíduos últimos [38].

A *Central de Tratamento e Valorização de Resíduos da Ilha Terceira* é dotada com um ecocentro para a entrega de resíduos com potencial para a valorização multimaterial (Reciclagem), por uma central de valorização orgânica de resíduos biodegradáveis provenientes das recolhas dedicadas de verdes e lamas provenientes da indústria de laticínios (valorização orgânica), com um Centro de Processamento de Resíduos Animais (CPRA) dedicada ao tratamento de carcaças e subprodutos animais (de origem animal), por uma unidade de trituração e processamento de resíduos volumosos e resíduos provenientes da mineração das antigas bolsas de resíduos, para posterior valorização energética, e por aterros de resíduos banais e perigosos para confinamento técnico dos resíduos que não possam ser valorizados (resíduos últimos) [38].

Durante o ano de 2016 a CVE (Central de Valorização Energética) tratou cerca de 37 554,9 ton de resíduos, sendo 10 880 ton provenientes da mineração das antigas bolsas de resíduos. Já em 2017 a CVE valorizou cerca de 31 096,58 ton de resíduos, sendo 5 786,6 ton provenientes da mineração das antigas bolsas de resíduos. Com a entrada em funcionamento, nos quatro trimestres de 2016 da CPRA foi possível tratar cerca de 880 ton

de resíduos animais, já em 2017 foi possível tratar 4 069,137 ton de resíduos animais, que após tratamento foram encaminhados para a valorização energética [36], [34].

Em 2016 foram encaminhados para reciclagem 329,21 ton de resíduos, correspondente a 89% a escórias ferrosas proveniente da CVE e os restantes 11% a matérias que deram entrada no ecocentro. Em 2017, foram encaminhadas 400,91 ton de resíduos, correspondente a 83,67% a escórias ferrosas e os restantes 16,33% que deram entrada no ecocentro [36], [34].

Como se pode verificar pela Figura 24, com a entrada em funcionamento da CVE há uma diminuição superior a 40% dos resíduos encaminhados para aterro, contudo e uma vez que a CPRA só dá entrada em funcionamento pleno no final do ano de 2016, isso fez com que 5 300 ton de matéria orgânica fossem encaminhadas para aterro, o que não permitiu uma maior diminuição dos resíduos encaminhados para aterro [23].

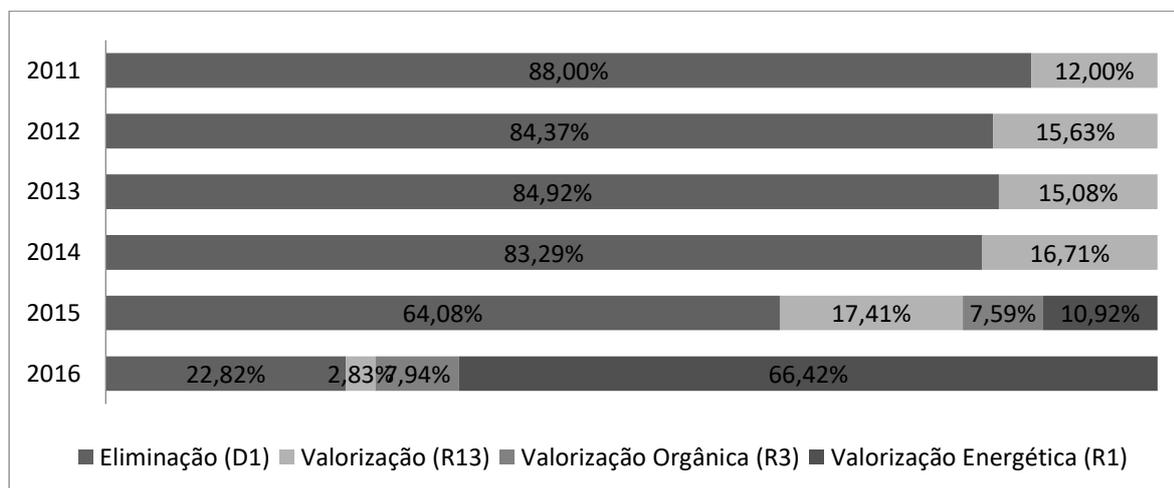


Figura 24 - Evolução das operações de tratamento de resíduos na CTVRIT [23].

5.2 UNIDADE DE INCINERAÇÃO DA CTVRIT

A designada Central de Valorização Energética da CTVRIT tem como objetivo a valorização, na forma de energia elétrica e calor, da fração de resíduos que não possa ser aproveitada através da valorização orgânica e reciclagem. A central de valorização energética por tecnologia de incineração por grelha é composta por [39]:

- Receção de resíduos e fossa de armazenamento
- Sistema de alimentação de resíduos e grelha de combustão
- Gerador de vapor de recuperação de calor

- Ciclo térmico e gerador de turbina a vapor
- Sistema de tratamento dos gases de combustão, ventilador de tiragem induzida e chaminé
- Sistema de armazenamento e doseamento para reagentes de tratamento de gases de combustão
- Recolha, armazenamento e estabilização de resíduos e cinzas volantes
- Recolha, tratamento e armazenamento de cinzas de fundo
- Bio filtração do ar do depósito de detritos
- Sistema de monitorização de emissões de gases de combustão

A CVE é constituída por uma linha de tratamento cuja capacidade de tratamento de eliminação é de 40 000 ton de resíduos por ano, considerando um período de funcionamento anual de 8 000 h/ano [39].

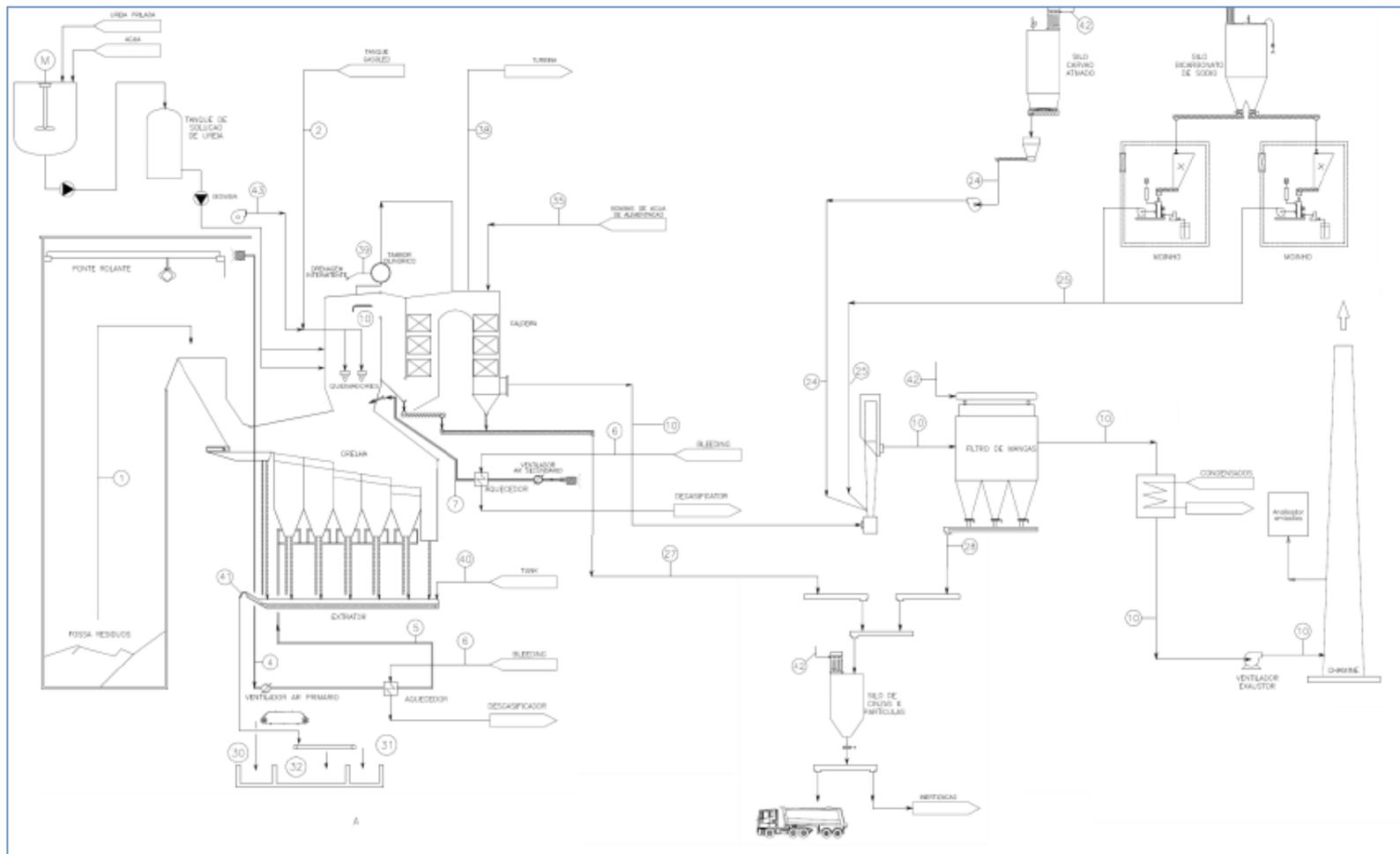


Figura 25 - Esquema da CVE - 1 - Resíduos; 2 - Gasóleo; 3 - Solução de Ureia, 4 - Ar primário; 5 - Condensado; 6 - Vapor MP; 7 - Ar secundário; 10 - Gases de combustão; 24 - Carvão Ativado; 25 - Bicarbonato de Sódio; 27 - Cinzas da caldeira; 30 - Metais ferrosos; 31 - Metais não ferrosos; 32 - Escórias; 35 - Água da caldeira; 38 - Vapor superaquecido; 39 - *Blowdown*; 40 - Água; 41 - Escórias; 42 - Ar comprimido; 43 - Ar ambiente [39, p.5].

5.2.1 RECEÇÃO DE RESÍDUOS

Os resíduos chegam à central de incineração provenientes dos vários circuitos de recolha de resíduos urbanos indiferenciados dos dois municípios da ilha Terceira, bem com os resíduos provenientes das ilhas de Santa Maria, Flores e Corvo e são armazenados numa fossa de receção. A fossa encontra-se num edifício fechado e mantido em depressão (a pressão é menor dentro do edifício) para evitar a propagação de odores, sendo os resíduos posteriormente transferidos para a linha de incineração, com capacidade para 5 t/h de resíduos. A linha de tratamento funciona em contínuo e de forma praticamente automática [39].

5.2.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Os resíduos são transferidos da fossa de receção para o distribuidor da fornalha através de uma ponte rolante equipada com uma garra hidráulica. Nas laterais da fossa de resíduos encontra-se mais uma ponte rolante de reserva. A ponte rolante em funcionamento pode-se deslocar livremente até ao tanque de resíduos, permitindo assim uma homogeneização dos resíduos na fossa. As pontes rolantes são comandadas por um operador a partir da sala de controlo. Uma vez no distribuidor da fornalha, os resíduos são progressivamente empurrados por um sistema de êmbolos hidráulicos para a grelha de combustão, onde são queimados a elevadas temperaturas [39].

5.2.3 GRELHA DE COMBUSTÃO

Na grelha de combustão os resíduos são incinerados na presença de ar à temperatura de 1000°C até 1200°C na presença de oxigénio em excesso. Deste processo de combustão são libertados gases a elevada temperatura que passam por uma caldeira de recuperação de energia, onde o seu calor é aproveitado para a produção de vapor de água sobreaquecido a elevada pressão [39].

A adição de ar de combustão aos resíduos ocorre em dois estágios, o ar primário é utilizado para a queima do resíduo, sendo introduzido na fornalha já pré-aquecido a 165°C com vapor extraído da turbina, sendo insuflado sob a camada material residual através de fendas nas barras da grelha de resíduos; o segundo estágio corresponde à adição de ar secundário e é feita ao nível onde ocorre a combustão de voláteis, ou seja, acima da massa

sólida em combustão. Seguindo o procedimento indicado, a adição de ar por estágios reduz a turbulência ao nível dos resíduos e o conseqüente arrasto de sólidos com os gases de combustão [39].

5.2.4 RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

A recuperação de energia no sistema de incineração da CVE da ilha Terceira é efetuado através do uso de um ciclo de vapor composto pelos seguintes sistemas [39]:

- Turbogenerador
- Condensador arrefecido a ar
- Sistema de vácuo
- De sobreaquecimento de vapor sob pressão para equipamentos MP (*medium pressure*)
- De sobreaquecimento de vapor sob pressão para *by-pass* da Turbina
- Cúpula de desgaseificação da água de alimentação
- Bombas de água de alimentação

Para o efeito, o sistema dispõe de uma caldeira, que opera um caudal de água saturada, previamente pré-aquecida até uma temperatura de 127°C e a uma pressão de 69 bar a partir de um tanque de homogeneização e nivelção. Ao passar através dos feixes tubulares da caldeira: (a) primeiro através do permutador de água-gás designado economizador, (b) depois mudando de fase líquida para vapor saturado no ebulidor (e barrilete) (c) e finalmente sobreaquecendo o vapor de água no designado sobre aquecedor. O caudal de vapor produzido na caldeira sai a uma temperatura de 360°C e a uma pressão de 42 bares em seguida é sujeito a expansão na turbina produzindo trabalho de rotação de veio. Durante o processo de expansão na turbina são feitas 2 extrações de vapor. O vapor na primeira extração após reaquecimento com a purga de vapor da caldeira é utilizado para o aquecimento do caudal de ar primário do processo de incineração dos resíduos e o aquecimento da água fresca introduzida no sistema. A segunda extração é feita para o aquecimento dos condensados [39].

Em caso de paragem da turbina ou indisponibilidade momentânea (manutenção do turbogenerador ou desconexão da grelha elétrica), um sistema *by-pass* envia o vapor

diretamente para o condensador de ar após ser efetuada a redução da pressão e da temperatura por intermédio de válvulas de controlo e de dessobreaquecedores² [39].

Os consumos comparáveis por fonte de combustível da instalação de valorização energética da CTVRIT, são evidenciados na Tabela 6. Analisando o consumo de eletricidade de Unidade Operacional verifica-se um aumento superior a 13% no consumo de eletricidade da Central de Valorização Energética, face ao ano de 2016. Quanto ao consumo de combustível (gasóleo), verifica-se um aumento significativo superior a 72% da Central de Valorização Energética, face ao de 2016.

Consumo de Energia	Unidades	2016	2017
Eletricidade	GJ	720,00	830,88
Gasóleo	GJ	446,73	1605,99

Tabela 6 - Consumos internos de energia importada [36], [34].

5.2.5 TRATAMENTO DE GASES PROVENIENTES DA INCINERAÇÃO

O controlo das emissões de metais pesados, dioxinas e furanos, é feito através do recurso a duas tecnologias: Sistema de abatimento do NOx do tipo SNCR e de um Sistema de depuração do tipo a seco. O primeiro sistema funciona através da injeção de ureia com solução aquosa de 30% na câmara de combustão [39].

O segundo sistema tem por objetivo complementar a elevada eficiência do primeiro sistema na remoção de gases ácidos, das poeiras, dos micropoluentes e metais, sendo constituído por dois equipamentos [39]:

- **Reator Seco:** os fumos entram num reator onde é injetado o bicarbonato de sódio e o carvão ativado em pó antes de chegar ao filtro de manga. O processo baseia-se na reação de NaHCO_3 com HCl , HF e SO_2 . Para se conseguir a neutralização dos ácidos e obter os níveis de emissão exigidos. O carvão ativado em pó permite também eliminar os micropoluentes orgânicos bem como os metais voláteis que ainda estejam presentes [39].
- **Filtro de mangas:** onde se efetua o despoeiramento dos fumos com uma eficiência superior a 99,7%. É composto por várias células internas que funcionam independentemente. O filtro está equipado com um sistema

² Equipamento que realiza e controla a temperatura através da injeção de água de resfriamento na tubulação de vapor superaquecido.

próprio de pré-aquecimento, para se evitar que a temperatura desça abaixo de um valor não aceitável para o funcionamento do mesmo. As poeiras são recolhidas em tremonhas³ aquecidas com resistências elétricas, com o intuito de evitar a formação de blocos sólidos nas paredes [39].

Por fim, os gases tratados são eliminados para o exterior através de uma chaminé.

³ Componente em forma de pirâmide quadrangular truncada e invertida.

CAPÍTULO VI: INDICADOR DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICO R_1 DA CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILHA TERCEIRA

A avaliação da recuperação de energia a partir da incineração de resíduos é efetuada com recurso à produção de trabalho mecânico, bem com o à produção de calor útil, tendo ainda em conta as quantidades de energia associadas aos resíduos e às quantidades de energia associadas de combustível auxiliar através da fórmula R_1 que basicamente é um indicador da recuperação de energia a partir da incineração de resíduos. Este indicador aplica-se à recuperação de energia a partir dos resíduos e distingue as operações de valorização (se a eficiência R_1 for superior a 0,6) das operações de eliminação de resíduos (se a eficiência R_1 for inferior a 0,6) (ver Anexo II da Diretiva-Quadro dos resíduos nº 2008/98/CE transposta pelo DL nº 73/2011 de 17 de Junho).

Em 2016, na Central de Valorização Energética da ilha Terceira foram incinerados 37 554,90 ton de resíduos sólidos urbanos, com um PCI de 5,84 GJ/ton, que continham 219 309, 30 GJ de energia. Que permitiram produzir 31 677,40 GJ de energia sob a forma de calor, tendo sido exportado 250,2 GJ para a CPRA, bem como 36 917,43 GJ de energia sob a forma de eletricidade, tendo sido exportado 30 642,48 GJ para a EDA.

O PCI dos resíduos incinerados pela CVEIT, comparativamente com os PCI das 314 unidades de incineração investigadas pela CEWEP, encontra-se abaixo do 6,4 GJ/Mg do valor mínimo das 314 unidades investigadas. As incineradas com produção de eletricidade e calor investigadas pela CEWEP, apresentaram um valor de PCI mínimo de 6.94 GJ/ton (como se pode verificar pela Figura 18, presente no Capítulo IV), e como se pode verificar pela Tabela 7 a Central de Valorização Energética da ilha Terceira não conseguiu atingir esse valor mínimo, ficando em 2016 com um PCI de 5.84 GJ/ton.

As pequenas incineradoras (<100 000 ton RU/ano), investigadas pela CEWEP apresentaram um PCI mínimo de 6,53 GJ/ton, e mais uma vez a CVEIT não conseguiu atingir esse valor mínimo, comparativamente com as centrais da mesma dimensão.

Cálculo do PCI dos resíduos	
T_b (°C) ⁴	168
$c_{st\ hp}$ (GJ/ton) ⁵	3,13
$c_{st\ bw}$ (GJ/ton) ⁶	0,50
$c_{st\ x}$ (GJ/ton) ⁷	2,63
c_f (GJ/ton) ⁸	42,80
m (ton) ⁹	37 554,90
m_f (ton) ¹⁰	10,44
$m_{st\ x}$ (ton) ¹¹	63 052,03
$m_{st\ w}$ (ton) ¹²	6 2916,11
PCI médio dos resíduos (GJ/ton)	5,84

Tabela 7 – Dados para o cálculo do PCI dos resíduos, em 2016.

Em 2017, na Central de Valorização Energética da ilha Terceira (CVEIT) foram incinerados 31 096,60 ton de resíduos sólidos urbanos, com um PCI de 7,19 GJ/ton. Que continham 223 630,94 GJ de energia, que permitiram produzir 32 164,75 GJ de energia sob a forma de calor, tendo sido exportado 2 574,3 GJ para a CPRA, bem como 43 264,29 GJ de energia sob a forma de eletricidade, tendo sido exportado 31 170,24 GJ para a EDA.

Assim, em 2017 verifica-se um aumento do PCI dos resíduos incinerados pela CVEIT, comparativamente com o ano anterior, o que permite ficar acima do valor mínimo das 314 unidades de incineração investigadas pela CEWEP. As incineradoras com produção de eletricidade e calor investigadas pela CEWEP apresentaram um valor de PCI mínimo de 6.94 GJ/ton (como se pode verificar pela Figura 18, presente no Capítulo IV) e como se

⁴Temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira [21].

⁵ Entalpia de vapor [21].

⁶ Entalpia de água da caldeira [21].

⁷ Entalpia líquida de vapor [21].

⁸ Valor calorífico do combustível suplementar que aumenta a produção de vapor [21].

⁹ Massa de resíduos incinerados no período de tempo definido [21].

¹⁰Quantidade de combustível suplementar utilizado no período de tempo correspondente [21].

¹¹Quantidade total de vapor produzido num período de tempo definido [21].

¹²Quantidade de vapor produzido a partir dos resíduos no mesmo período de tempo para m_{st} [21].

pode verificar pela Tabela 8 a Central de Valorização Energética da ilha Terceira conseguiu atingir esse valor mínimo, ficando em 2017 com um PCI de 7,19 GJ/ton, no entanto, não conseguiu exceder o PCI médio apresentado por esse tipo de incineradoras.

As pequenas incineradoras (<100 000 ton RU/ano), investigadas pela CEWEP apresentaram um PCI mínimo de 6,53 GJ/ton, valor esse que a CVEIT conseguiu ultrapassar.

Cálculo do PCI dos resíduos	
T_b (°C) ¹³	185,26
$c_{st\ hp}$ (GJ/ton) ¹⁴	3,15
$c_{st\ bw}$ (GJ/ton) ¹⁵	0,53
$c_{st\ x}$ (GJ/ton) ¹⁶	2,62
c_f (GJ/ton) ¹⁷	42,80
m (ton) ¹⁸	31 096,60
m_f (ton) ¹⁹	37,52
$m_{st\ x}$ (ton) ²⁰	66 703,81
$m_{st\ w}$ (ton) ²¹	66 213,43
PCI médio dos resíduos (GJ/ton)	7,19

Tabela 8 – Dados para o cálculo do PCI dos resíduos, em 2017.

¹³Temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira [21].

¹⁴ Entalpia de vapor [21].

¹⁵ Entalpia de água da caldeira [21].

¹⁶ Entalpia líquida de vapor [21].

¹⁷ Valor calorífico do combustível suplementar que aumenta a produção de vapor [21].

¹⁸ Massa de resíduos incinerados no período de tempo definido [21].

¹⁹Quantidade de combustível suplementar utilizado no período de tempo correspondente [21].

²⁰Quantidade total de vapor produzido em um período de tempo definido [21].

²¹Quantidade de vapor produzido a partir dos resíduos no mesmo período de tempo para m_{st} [21].

Em 2016 a CVEIT apresentou um $R_1 = 0,58$. O indicador de recuperação de energia mínimo apresentada pelas incineradoras com produção de eletricidade e calor investigadas pela CEWEP foi de $R_1 = 0,23$ (como se pode verificar pela Figura 21, presente no Capítulo IV), valor esse que a unidade de incineração da ilha Terceira conseguiu ultrapassar. No entanto a CVEIT não alcançou o valor médio de $R_1 = 0,76$ apresentado por esse tipo de unidades de incineração. As pequenas incineradoras (<100 000 ton RU/ano), investigadas pela CEWEP apresentam um indicador de recuperação de energia mínimo de $R_1 = 0,21$, valor esse que a unidade de incineração da ilha Terceira consegue novamente ultrapassar, como se pode verificar pela Tabela 9.

Como se pode verificar pela Tabela 5, apresentada no Capítulo IV, a unidade de incineração da ilha Terceira apresenta um indicador de recuperação de energia superior à do indicador médio de $R_1 = 0,49$, apresentado pelas restantes três unidades de incineração em Portugal.

Ao aplicar-se o fator de correção climática à fórmula R_1 , tal como estipulado pela diretiva (EU) 2015/1127, o indicador de recuperação de energia apresentado pela unidade de incineração da ilha Terceira é $R_1 = 0,65 \geq 0,65$, e assim sendo a unidade de tratamento térmico da ilha Terceira é considerada como uma operação de valorização (R1).

Indicador de Recuperação de Energia		
	E_{th} (GJ) ²²	31 677,40
	E_{el} (GJ) ²³	36 917,43
E_p (GJ) ²⁴		130 830,46
	$m_{fuel,gas\acute{o}leo}$ (ton) ²⁵	10, 44
	$PCI_{fuel,gas\acute{o}leo}$ (GJ/ton) ²⁶	42,80
E_f (GJ) ²⁷		446,73
E_i (GJ) ²⁸		7 194,09
	m_{waste} (ton) ²⁹	37 554,90
	PCI_{waste} (GJ/ton) ³⁰	5,84
E_w (GJ) ³¹		219 309,30
GDA ³²		260,71
R_1 ³³		0,58
R_1 com o FCC ³⁴		0,65

Tabela 9 – Indicador de recuperação de energia, da CVEIT, em 2016

²²Energia anual produzida sob forma de calor.

²³Energia anual produzida sob forma de eletricidade.

²⁴ Energia anual produzida sob a forma de calor ou eletricidade.

²⁵Massa de combustível utilizada.

²⁶ Poder calorífico inferior dos combustíveis utilizados.

²⁷ Entrada anual de energia no sistema a partir de combustíveis que contribuem para a produção de vapor.

²⁸Energia anual importada de E_f e E_w .

²⁹Massa de resíduos incinerados.

³⁰Poder calorífico inferior dos resíduos.

³¹ Energia anual contida nos resíduos tratados.

³² Graus-dias de aquecimento.

³³ Indicador de recuperação de energia .

³⁴ Fator de Correção Climática.

Em 2017 verifica-se um aumento indicador de recuperação de energia da CVEIT, comparativamente com o ano anterior, tendo essa apresentando uma $R_1 = 0,63$. Tal como em 2016 a unidade de incineração da ilha Terceira consegue ultrapassar um indicador mínimo de $R_1 = 0,23$ (como se pode verificar pela Figura 21, presente no Capítulo IV) apresentada pelas incineradoras com produção de eletricidade e calor investigadas pela CEWEP, no entanto e mesmo com uma melhoria indicador de recuperação de energia a CVEIT não consegue alcançar o valor médio de $R_1 = 0,76$ apresentado por esse tipo de unidades de incineração. As pequenas incineradoras (<100 000 ton RU/ano), investigadas pela CEWEP apresentam um indicador de recuperação de energia médio ponderado de $R_1 = 0,63$ (como se pode verificar pela Figura 21, presente no Capítulo IV), valor esse que a unidade de incineração da ilha Terceira consegue igualar.

Ao aplicar-se o fator de correção climática à fórmula R_1 , tal como estipulado pela diretiva (EU) 2015/1127, O indicador de recuperação de energia apresentado pela unidade de incineração da ilha Terceira em 2017 é $R_1 = 0,70 \geq 0,65$, assim sendo a unidade de tratamento térmico da ilha Terceira continua a ser considerada como uma operação de valorização (R_1).

Indicador de Recuperação de Energia		
	E_{th} (GJ) ³⁵	32 164,75
	E_{el} (GJ) ³⁶	4 3264,29
E_p (GJ) ³⁷		147 868,38
	$m_{fuel, gas\acute{o}leo}$ (ton) ³⁸	37,52
	$PCI_{fuel, gas\acute{o}leo}$ (GJ/ton) ³⁹	42,80
E_f (GJ) ⁴⁰		1 605,88
E_i (GJ) ⁴¹		8939,63
	m_{waste} (ton) ⁴²	31 096,60
	PCI_{waste} (GJ/ton) ⁴³	7,19
E_w (GJ) ⁴⁴		223 630,94
GDA ⁴⁵		260,71
R_1 ⁴⁶		0,63
R_1 com o FCC ⁴⁷		0,70

Tabela 10 - Indicador de recuperação de energia, da CVEIT, em 2017.

³⁵Energia anual produzida sob forma de calor.

³⁶Energia anual produzida sob forma de eletricidade.

³⁷ Energia anual produzida sob a forma de calor ou eletricidade.

³⁸Massa de combustível utilizada.

³⁹ Poder calorífico inferior dos combustíveis utilizados.

⁴⁰ Entrada anual de energia no sistema a partir de combustíveis que contribuem para a produção de vapor.

⁴¹Energia anual importada de E_f e E_w .

⁴²Massa de resíduos incinerados.

⁴³Poder calorífico inferior dos resíduos.

⁴⁴ Energia anual contida nos resíduos tratados.

⁴⁵ Graus-dias de aquecimento.

⁴⁶ Indicador de recuperação de energia.

⁴⁷ Fator de Correção Climática.

CAPÍTULO VII: ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DE FUNCIONAMENTO E EXPLORAÇÃO DA CENTRAL DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DA ILHA TERCEIRA

A Central de Valorização Energética da ilha Terceira é uma entidade empresarial com qualificação de empresa municipal de gestão, tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos. Os custos totais de funcionamento e exploração da CVEIT incluem custos de mão-de-obra, serviços especializados (que incluem os estudos e projetos necessários aos projetos de investimento futuros, os serviços do Técnico Oficial de Contas, do Revisor Oficial de contas e outros), mercadorias vendidas e matérias consumidas (que abrangem maioritariamente os ressarcimentos à EDA pelas deslastragens e aquisição de reagentes para o tratamento de gases) e com consumo de energia e fluidos. Os benefícios totais incluem a venda de eletricidade, a prestações de serviços de tratamento de resíduos e a redução dos custos no consumo de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade.

Como se pode verificar pela Tabela 11, os gastos totais em 2016 foram de 1 445 022,70€, sendo que 623 013,80€ correspondem aos custos de mão-de-obra, representando 43,11% dos custos totais, seguidos pelos gastos com serviços especializados que representam 29,51%. Em 2017 verifica-se um aumento dos gastos totais, com um valor de 1 528 146,66 principalmente devido ao aumento dos custos de mão-de-obra e ao aumento com os custos das mercadorias vendidas e matérias consumidas. No entanto, como se pode confirmar no Capítulo VI, em 2017 verificou-se um aumento na produção de eletricidade.

	2016	2017
Mão-de-obra	623 013,80 €	683 836,66 €
Serviços especializado	426 434,51 €	302 068,53 €
Energia e Fluidos	87 092,47 €	81 772,91 €
Custo de Mercadorias Vendidas e Matérias Consumidas	308 481,92 €	460 468,56 €
Total	1 445 022,70 €	1 528 146,66 €

Tabela 11 - Custos totais de funcionamento e exploração da CVEIT [38].

Em 2016, o benefício da venda de eletricidade rendeu 764 117,88€. Em 2017, verifica-se um aumento na produção de eletricidade comparativamente com 2016, aumentando assim os benefícios da venda de eletricidade, rendendo 834 664,94 € (sendo

que em 2016 o preço de venda de eletricidade era 94,6 €/MWh e em 2017 foi de 96,4 €/MWh), conforme ilustra a Tabela 12 [36], [38].

Segundo a Tabela 12 pode-se verificar que em 2017 houve uma diminuição nos benefícios na prestação de serviços de tratamento de resíduos relativamente a 2016.

	2016	2017
Quantidade total de eletricidade gerada para venda (KWh)	8 077356,00	8 658350,00
Venda de eletricidade (€)	764 117,88	834 664,94
Prestação de Serviços de tratamento de resíduos (€)	1 047 770,62	899 579,23

Tabela 12 - Benefícios pela venda de eletricidade e prestação de serviços da CVEIT [38].

De modo a determinar a redução dos custos no consumo de combustíveis fósseis, foi assumido que a energia produzida através da central termoelétrica do Belo Jardim com recurso a fuelóleo iria ser substituída pela incineração de resíduos. Deste modo utilizou-se o seguinte método descrito pelas equações (11) e (12).

O consumo de combustível é dado por [50]:

$$m_{Combustivel} = \frac{E_{Combustivel}}{PCI} \quad (11)$$

em que:

$$\eta = \frac{E_{Util}}{E_{Combustivel}} (=) E_{Combustivel} = \frac{E_{Util}}{\eta} \quad (12)$$

com:

$m_{Combustivel}$ – massa de combustível (kg)

$E_{Combustivel}$ – energia do combustível (MWh)

E_{Util} - energia útil (MWh)

η - eficiência da central (%)

Entre 2016 e 2017, foram produzidos 16 735 706 kWh de energia elétrica através da incineração de resíduos. Se essa quantidade de energia fosse produzida através de fuelóleo, seria necessário adquirir 16 734 706 kg de fuelóleo, o que resultava num custo de 1 736 598,2€ na aquisição de fuelóleo.

	2016	2017
η da Central Termoelétrica do Belo Jardim (%)	41,45	
PCI fuelóleo (KWh/kg)	11,08	
Preço fuelóleo (€/kg)	0,43	0,52
Quantidade total de eletricidade gerada pela CVE (KWh)	8 077 356,00	8 658 350,00
Quantidade de fuelóleo reduzido (kg)	1 758 753,32	1 885 258,22
Redução dos custos no consumo de combustíveis fósseis	756 263,93	980 334,27

Tabela 13 - Benefícios com a redução no consumo de combustíveis fósseis [51], [53] e [54].

CAPÍTULO VIII: CONTRIBUTO DA UNIDADE DE INCINERAÇÃO NO SECTOR ELÉTRICO DA ILHA TERCEIRA

8.1 POTÊNCIA INSTALADA

Segundo o Relatório “Caracterização das Redes de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica da Região Autónoma dos Açores - Situação em 31 de Dezembro de 2016”, elaborado pela EDA, nesta data, o sistema elétrico da Ilha Terceira era composto por sete centrais de produção de energia elétrica e por cinco subestações. O sistema de transporte e distribuição era composto por uma rede de transporte de Média Tensão - 30 kV e por uma rede de distribuição de Média Tensão com o nível de tensão de 15 kV. Nas instalações da Base Aérea das Lajes, a distribuição de energia elétrica era efetuada com o nível de tensão de 6,9 kV [40].

Em 2016 o sistema electroprodutor da ilha Terceira era constituído pela Central Termoelétrica do Belo Jardim (CTBJ), que possui uma potência calorífica de combustão instalada total de 158,81 MW_t, e uma potência elétrica instalada total de 61,12 MW_e. Esta central utiliza fuelóleo como combustível e gasóleo somente em situações de arranque e paragem dos grupos eletrogeradores; pelo Parque Eólico da Serra do Cume (PESC) constituído por dez aerogeradores, cada um com uma potência instalada de 900 kW_e, perfazendo um total de 9 MW_e de potência instalada; por um segundo Parque Eólico da Serra do Cume Norte (PESN) composto por quatro aerogeradores e com um valor de potência total instalada de 3,6 MW_e, pela Central de Tratamento e Valorização Energética de Resíduos da Ilha Terceira (CTVRIT) com uma potência instalada de 2,6 MW_e e pelas Centrais Hídricas da Cidade (CHCD), Nasce D’Água (CHNA) e São João (CHSJ) que juntas apresentam uma potência instalada 1,432 MW_e [40].

A partir de 10 de Agosto de 2017 o sistema electroprodutor da ilha Terceira passa a ser composto por oito centrais de produção de energia elétrica, com a entrada em funcionamento da Central Geotérmica do Pico Alto constituída por um grupo gerador de tecnologia binária, funcionado segundo o ciclo de *Rankine*, com 3,5 MW_e de potência nominal líquida, abastecido por três poços de produção e um poço de re-injeção [41].

8.2 CONSUMO DE ELETRICIDADE

Concretamente para a ilha Terceira, houve um aumento ao longo dos anos no consumo de eletricidade, conforme se pode verificação pela Figura 26, em que se registou um aumento de consumo de 77 284 900 kWh (em 1991) para 197 713 635 kWh em 2010, observando-se uma ligeira redução nos anos seguintes até chegar aos 174 911 171 kWh em 2017 [42].

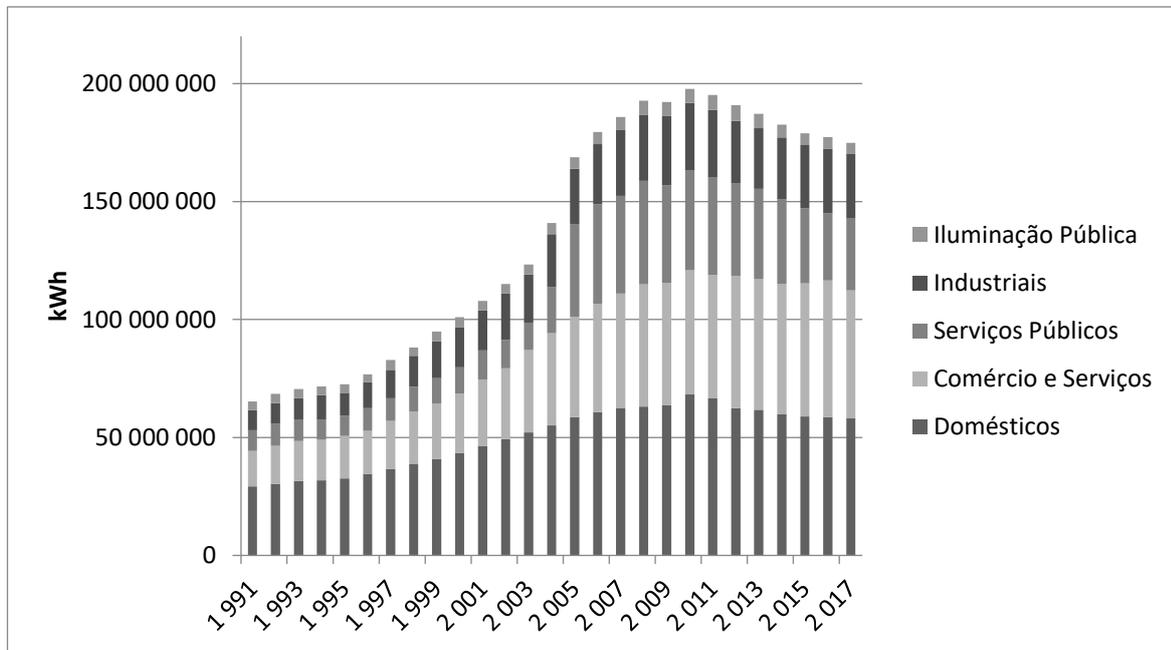


Figura 26 - Evolução do consumo final de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, de 1991 a 2017 [42].

Segundo a Figura 27, verifica-se um consumo de 1 164 kWh de energia elétrica por habitante, contudo, o consumo de energia elétrica por habitante tem vindo a aumentar ao longo dos anos, sendo que em 2010 se registou o valor mais alto de 3 502 kWh/*per capita* para o período em análise, observando-se um decréscimo nos anos seguintes para 3 168 kWh/*per capita*.

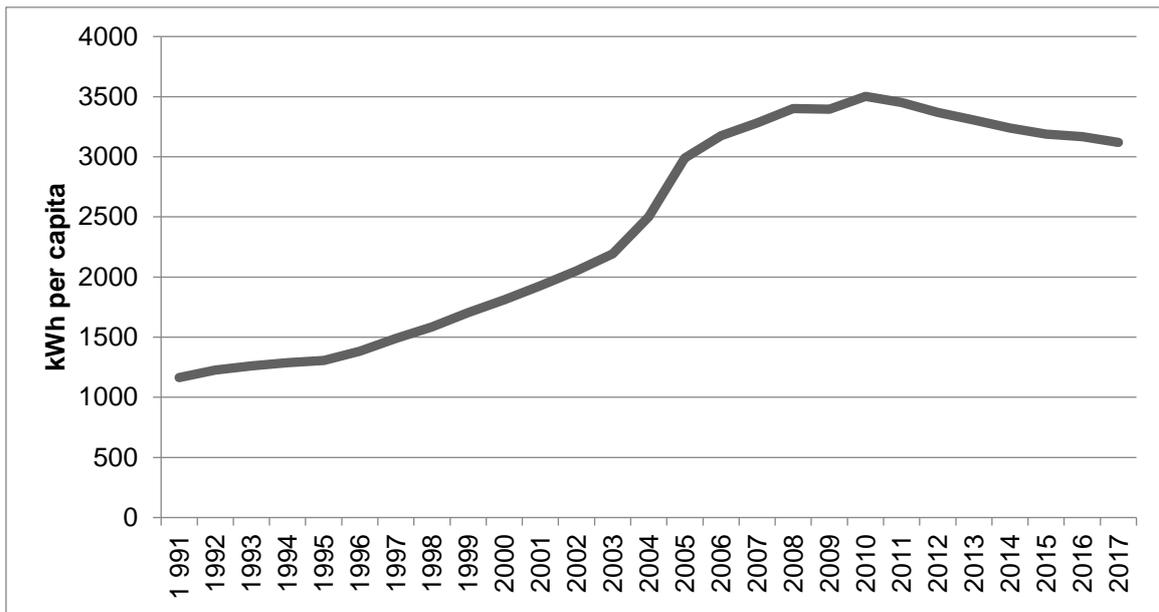


Figura 27 - Evolução do consumo de final energia elétrica *per capita*, na ilha Terceira, de 1991 a 2017 [42], [43].

Apresenta-se, na Figura 28, a evolução do preço médio de venda de energia elétrica entre 2008 e 2016, onde se pode verificar um incremento anual. Ou seja, apesar de se registar um incremento ao longo do tempo do consumo de energia registou-se também um incremento no preço de venda da eletricidade, o que aliado ao aumento da eficiência energética poderá justificar uma pequena diminuição no consumo de eletricidade na ilha Terceira, registada em 2010 e 2016.

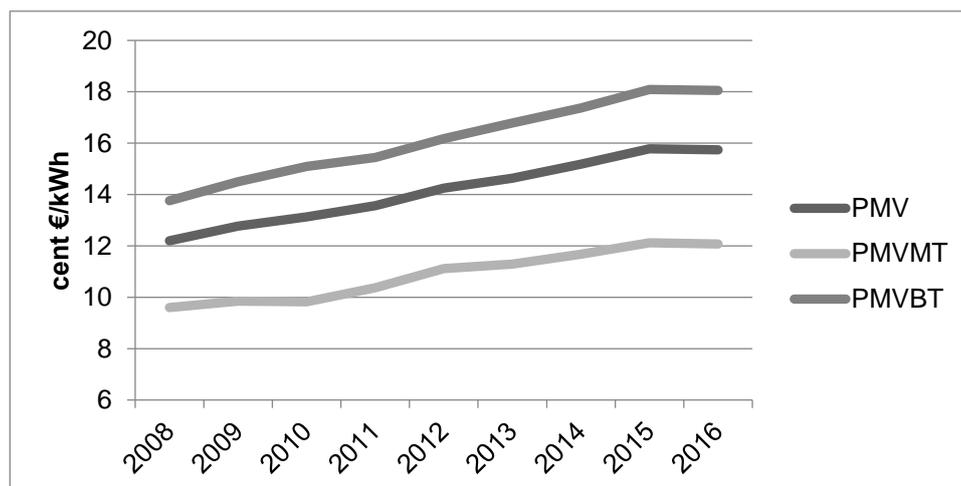


Figura 28 - Evolução do preço médio de venda de eletricidade, na ilha Terceira, entre 2008 e 2016 (PMV – preço médio de venda; PMVMT- preço médio de venda de média tensão; PMVBT- preço médio de venda de baixa tensão) [44], [45].

A parcela de energia elétrica que se encontra disponível para utilização direta por parte dos consumidores denomina-se por energia elétrica final. A variabilidade anual muda de setor para setor. A representatividade de cada setor depende das necessidades de consumo, hábitos de consumo e eficiência de consumo. Como se pode verificar pela Figura 29, ao longo dos anos os sectores com maior consumo de energia elétrica são o doméstico e o do comércio e serviços, os quais representam cerca de 67% do consumo total.

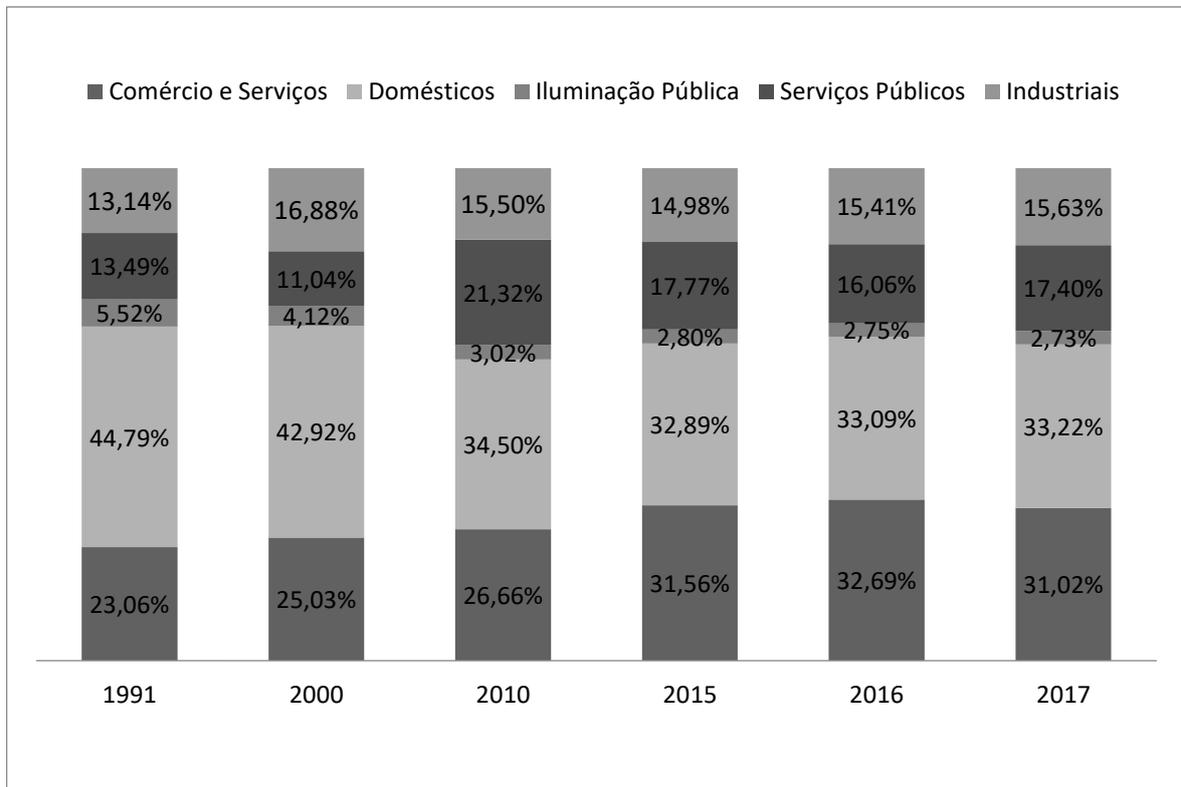


Figura 29 - Distribuição do consumo de energia elétrica, por sector, na ilha Terceira, de 1991; 2010 e de 2015 a 2017 [42].

O consumo de energia elétrica em 2015 atingiu os 178 947 921 kWh[42]. Do consumo total destaca-se o peso do sector do comércio e serviços (incluindo serviços públicos) com 49,33%, os usos domésticos que representam 32,89% e os usos industriais com 14,94%, conforme ilustra a Figura 30.

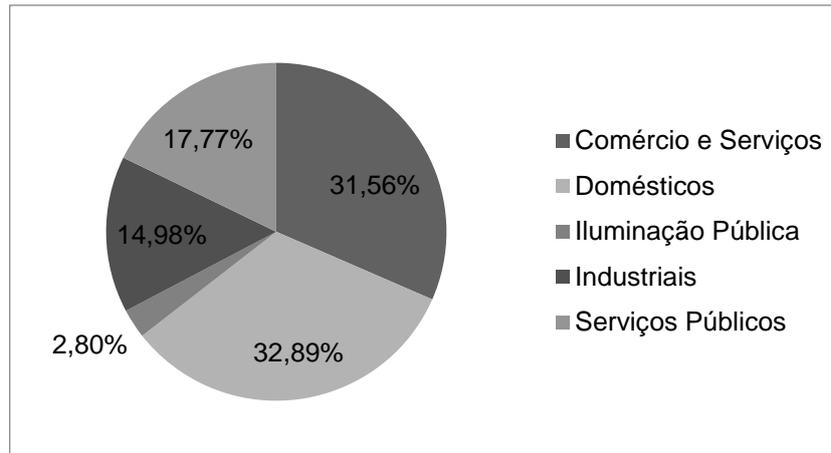


Figura 30 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2015 [42].

Em 2016, o consumo de energia elétrica atingiu os 177 270 245 kWh, traduzindo um decréscimo de cerca de 0,2% em comparação com o ano anterior[42]. Do consumo total destaca-se o peso de comércio e serviços (incluindo serviços públicos) com 48,75%, os usos domésticos que representam 32,09% e os usos industriais com 15,41%, conforme ilustra a Figura 31.

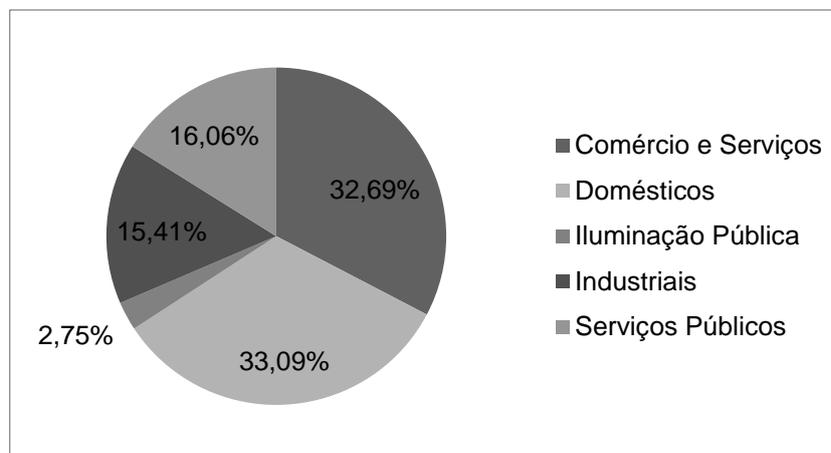


Figura 31 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2016 [42].

O consumo de energia elétrica atingiu em 2017 os 174 911 170 MWh, traduzindo um decréscimo de cerca de 0,3% em comparação com o ano anterior[42]. Do consumo total destaca-se o peso de comércio e serviços (incluindo serviços públicos) com 48,42%, os usos domésticos que representam 33,22% e os usos industriais com 17,40%, conforme ilustra a Figura 32.

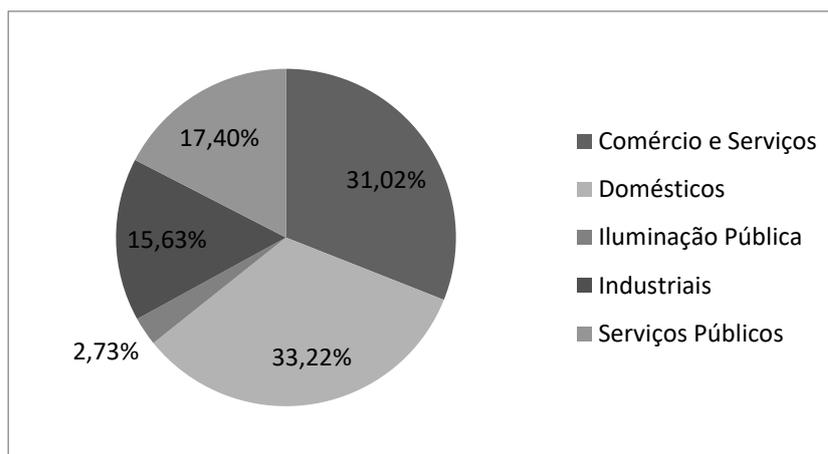


Figura 32 - Consumo de energia elétrica, por setor, na ilha Terceira, em 2017 [42].

8.3 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O sector elétrico produtor da ilha Terceira é dominado pelo consumo de combustíveis fósseis e, tendo em conta a localização geográfica da região faz com que exista uma grande dependência de fontes externas que permitam suprir a procura de energia. Tal como era de esperar, com o aumento do consumo de eletricidade, também se verifica um aumento na produção de energia elétrica ao longo dos anos, sendo que em 1991 produziu-se cerca de 77 284 900 kWh e em 2011 verifica-se um aumento para 214 742 324 kWh, observando-se um ligeiro decréscimo nos anos seguintes até chegar aos 194 389 261 kWh em 2017, conforme ilustra a Figura 33 [46].

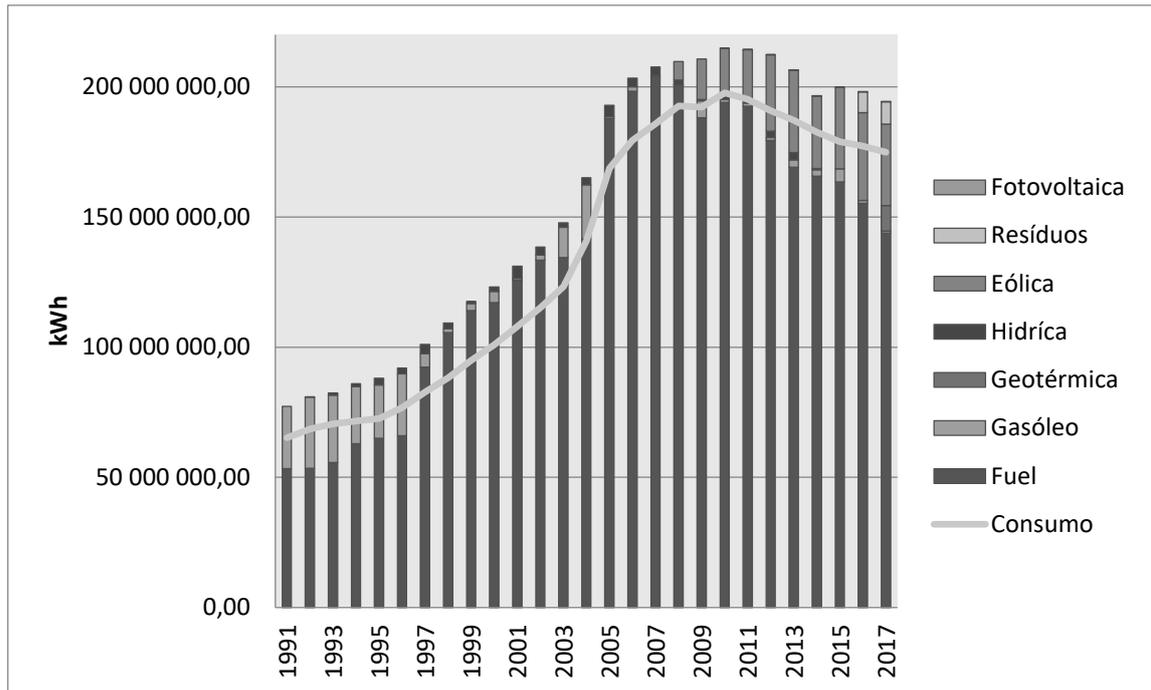


Figura 33 - Evolução da produção de energia elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de 1991 a 2017 [46].

Ao longo do ano de 2015 a produção total de energia elétrica foi de 199 840 763 kWh [46]. A ilha Terceira conta com uma produção acumulada à base de *fuel* e de gasóleo, ou seja, à base de fontes fósseis, para o período de Janeiro a Dezembro de 2015, correspondente a 84,33%, onde 15,64% corresponde à estrutura de produção eólica e 0,03 à produção fotovoltaica, conforme se ilustra na Figura 34.

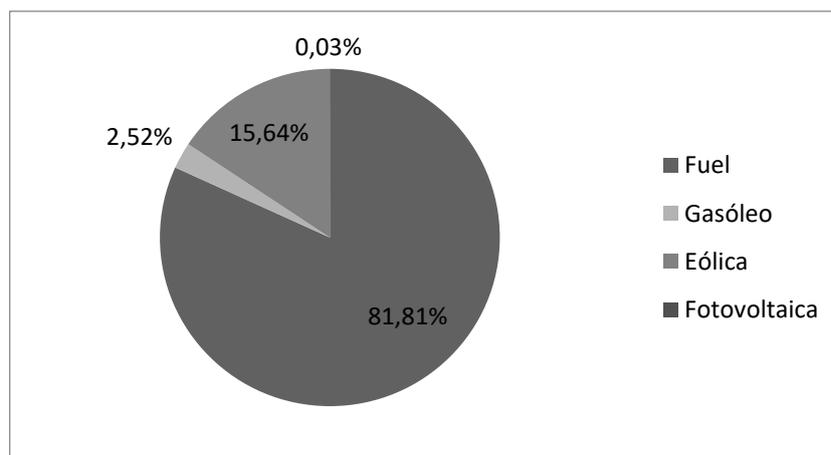


Figura 34 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2015 [36].

Posto isso pode-se verificar pela Figura 35 que 84,33% da produção elétrica da ilha Terceira recorreu a fontes não renováveis e que os restantes 15,67% foram efetuados através de fontes renováveis.

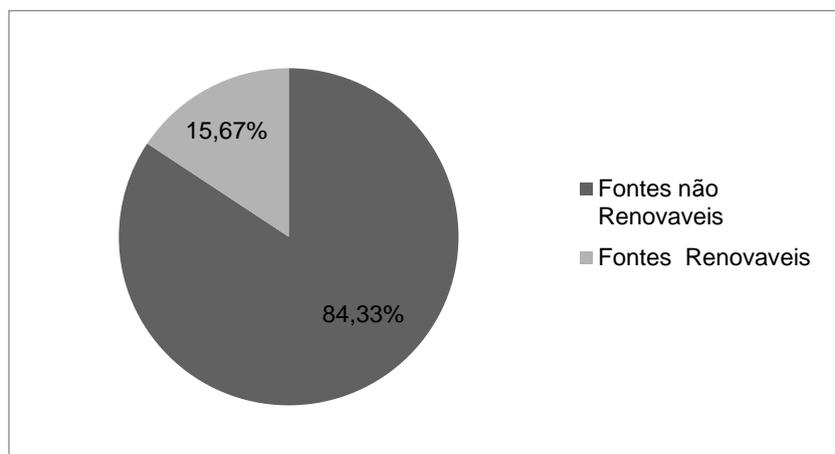


Figura 35 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2015 [36].

Em 2016 a produção total de energia elétrica foi de 189 191 149 kWh, no qual se verifica um decréscimo de 1% relativamente à produção em 2015 [46]. Com a entrada em funcionamento da Central de Valorização Energética de Resíduos Sólidos Urbanos TERAMB, que representa 4,08% da produção total de eletricidade na ilha Terceira, verificou-se um decréscimo superior a 6% em comparação com igual período do ano anterior na produção acumulada à base de combustíveis fósseis, que em 2016 representa 78,35% da produção total acumulada. Ainda em 2016 verificou-se um aumento de 1,37% na produção eólica, conforme ilustra a Figura 36.

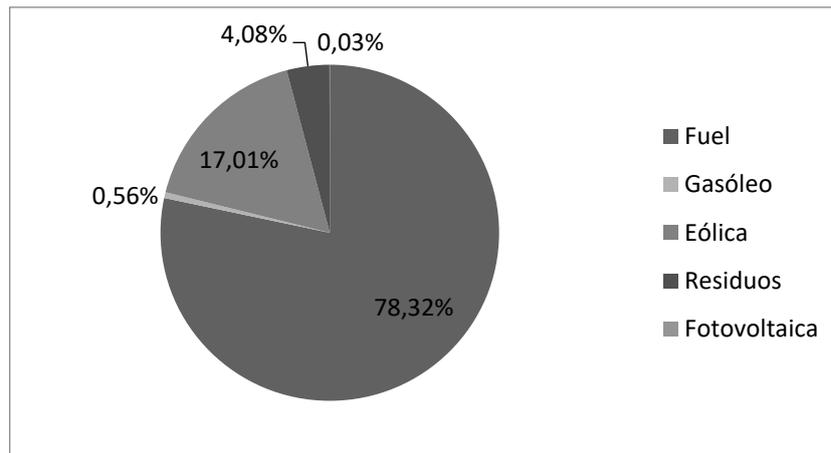


Figura 36 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2016 [46].

Assim sendo, verificou-se um aumento da produção através de fontes renováveis em 5,67% no ano de 2016 como ilustra a Figura 37.

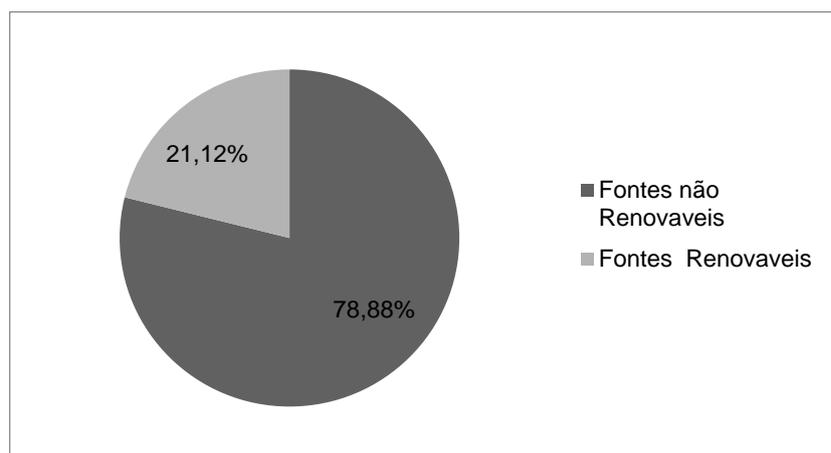


Figura 37 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2016 [46].

Novamente em 2017, volta-se a verificar um decréscimo na produção de energia elétrica para 174 911 170kWh, comparativamente com o ano anterior [46]. Com a entrada em funcionamento da Central Geotérmica do Pico Alto que representa 5,06% da produção total de eletricidade na ilha Terceira e com o aumento para 4,45% da produção de eletricidade através da incineração de resíduos, verifica-se uma diminuição na produção de eletricidade através de *fuel* e gasóleo. No entanto, a produção acumulada continua a

ser à base de combustíveis fósseis, que passa a representar 74,06% da produção total acumulada, conforme ilustra a Figura 38.

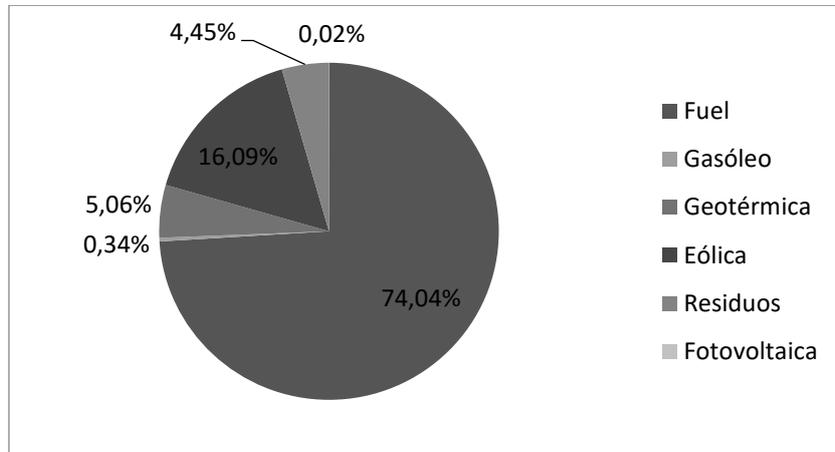


Figura 38 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte de origem, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2017 [46].

Com tudo isto, verifica-se um aumento de 15,67% em 2015 para 25,62% em 2017, fazendo com que um quarto da produção de eletricidade da ilha Terceira fosse efetuado através de fontes renováveis, conforme ilustra a Figura 39.

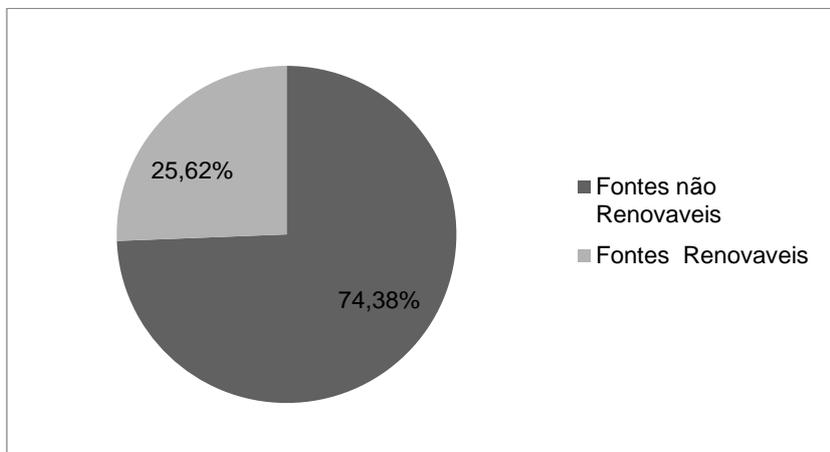


Figura 39 - Distribuição da Produção de Energia Elétrica, por fonte renovável e não renovável, na ilha Terceira, de Janeiro a Dezembro de 2017 [46].

Deste modo, podemos concluir que a entrada em funcionamento da CVEIT teve um contributo positivo no setor electroprodutor da ilha Terceira, ao diminuir a produção de eletricidade através de combustíveis fósseis.

8.4 EMISSÕES DE CO₂ ASSOCIADAS À PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As emissões específicas de CO₂ associadas à produção de energia elétrica em 2015 eram de 575,41 g CO₂/kWh, o que perfaz um consumo total de 114 990 ton de CO₂. Já em 2016 as emissões específicas de CO₂ diminuíram para 569,8 g CO₂/kWh diminuindo assim o consumo de CO₂ para 112 929 ton, tal como ilustra a Figura 40. Em 2017, voltou-se a verificar a mesma tendência, ou seja, uma diminuição das emissões específicas de CO₂ para 547,47 g CO₂/kWh, em comparação com o ano anterior.

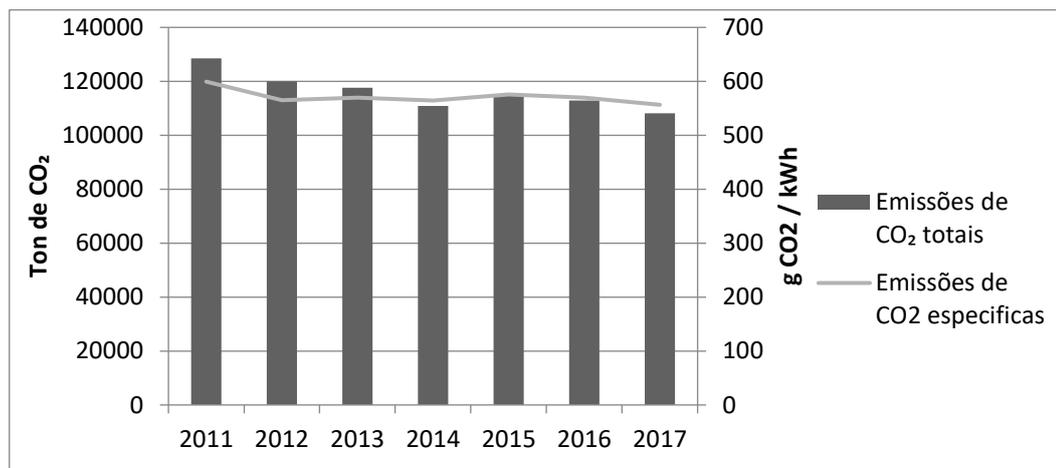


Figura 40 - Emissões de CO₂ associadas à produção de energia elétrica, na ilha Terceira, entre 2011 e 2017 [47], [48] e [49]

CAPÍTULO IX: CONCLUSÕES

Só através da educação ambiental, da redução do consumo e da implementação de práticas ecologicamente corretas de gestão se poderá resolver o problema dos resíduos urbanos. A utilização sistemática de separação e segregação na origem de matérias com valor de mercado, principalmente daqueles que já não sendo ambientalmente, economicamente e tecnicamente apropriados para a valorização material, em virtude do seu estado de sujidade ou contaminação são os melhores combustíveis. Por certo esses podem contribuir para o aumento da quantidade de energia que pode ser recuperada através de processos de incineração. A incineração, por si própria, apresenta-se como um método de valorização ou de eliminação, tendo como vantagem a recuperação do conteúdo energético do resíduo e a diminuição da quantidade de resíduo destinado para aterro.

O nível de unidades de incineração de resíduos na Europa mostra que o tratamento térmico de resíduos se tem revelado como uma solução bastante recorrente ao nível de gestão de resíduos. Embora essa matéria continue a ser questionável, os tratamentos térmicos de resíduos como aproveitamento de energia devem continuar a ser uma solução de tratamento equacionada no âmbito de gestão de resíduos urbanos. De modo a encorajar a recuperação de energia a partir dos resíduos, a Comissão Europeia definiu um critério para avaliar a natureza de operação das instalações de incineração de resíduos: valorização (R1) ou eliminação (D10), através da fórmula R_1 , que é basicamente um indicador da recuperação de energia a partir da incineração de resíduos.

Desde 2001, e por um período de 3 anos, a CEWEP elaborou relatórios do desempenho das unidades de incineração de resíduos no âmbito da fórmula R_1 , sendo que o seu último relatório, para o período de 2007-2010, abrangeu 314 unidades de incineração da UE, com exceção da unidade de incineração da ilha Terceira, que só iniciou a sua atividade em 2016. A unidade de incineração da ilha Terceira, em 2016 incinerou 37 554,90 ton de resíduos sólidos urbanos, com um PCI de 5,84 GJ/ton, que permitiu produzir 31 677,40 GJ de energia sob a forma de calor e ainda produziu 36 917,43 GJ de energia sob a forma de eletricidade, tendo sido exportado 30 642,48 GJ para a EDA, o que corresponde a 4,08% da produção total de eletricidade na ilha Terceira. Neste mesmo ano verificou-se uma diminuição superior a 6% da produção de eletricidade a partir de combustíveis fósseis, comparativamente com o ano anterior. Em 2016 a produção de eletricidade da ilha Terceira contava com 21,12% de produção de eletricidade através de fontes renováveis, mais 5,67% do que em 2015.

Em 2016 a CVEIT apresentou um $R_1 = 0,58$. Com este indicador de recuperação de energia a unidade de incineração da ilha Terceira consegue ultrapassar o R_1 mínimo obtido pelas unidades de incineração com produção combinada de calor e eletricidade (CHP) e as unidades de incineração consideradas de pequena dimensão (<100000 ton RU / ano) investigadas pela CEWEP. No entanto, ao aplicar-se o fator de correção climática à fórmula R_1 , tal como estipulado pela diretiva (EU) 2015/1127, O indicador de recuperação de energia apresentado pela unidade de incineração da ilha Terceira é $R_1 = 0,65 \geq 0,65$, e assim sendo a unidade de tratamento térmico da ilha Terceira pode ser considerada como uma operação de valorização (R1).

Em 2017, Central de Valorização Energética da ilha Terceira incinerou 31 096,60 ton de resíduos, com um PCI de 7,19 GJ/ton, superior ao ano anterior, que permitiram produzir 32 164,75 GJ de energia sob a forma de calor e 43 264,29 GJ de energia sob a forma de eletricidade, tendo sido exportado 31 170,24 GJ para a EDA, o que corresponde a 4,45% da produção total de eletricidade na ilha Terceira, e um aumento de 0,37% relativamente a 2016.

Em 2017 verifica-se um aumento indicador de recuperação de energia da CVEIT, comparativamente com o ano anterior, tendo essa apresentado um $R_1 = 0,63$. Com este indicador de recuperação de energia a unidade de incineração da ilha Terceira consegue ultrapassar um indicador de recuperação de energia mínimo obtida pelas unidades de incineração com produção combinada de calor e eletricidade (CHP) analisadas pela CEWEP. Comparativamente com pequenas incineradoras (<100000ton RU / ano), investigadas pela CEWEP, a unidade de incineração da ilha Terceira consegue igualar o indicador de recuperação de energia médio pondero ($R_1 = 0,63$). Ao aplicar-se o fator de correção climática à fórmula da R_1 , o indicador de recuperação de energia apresentado pela unidade de incineração da ilha Terceira é $R_1 = 0,70 \geq 0,65$. Assim sendo, a unidade de tratamento térmico da ilha Terceira é considerada novamente como uma operação de valorização (R1).

Entre 2016 e 2017, foram produzidos 16 735 706 kWh de energia elétrica através da incineração de resíduos, o que resultou num benefício total na venda de eletricidade no valor de 1 598 672,82€. Se essa quantidade de energia fosse produzida através de fuelóleo, seria necessário adquirir 16 734 706 Kg de fuelóleo, o que resultava num custo de 1 736 598,2€ na aquisição deste combustível.

Como referido nos Capítulos anteriores, na sociedade moderna têm-se verificado duas grandes problemáticas, que estão relacionadas com a procura de energia e a sua origem, a segunda relacionada com o aumento da produção de resíduos e a sua inadequada gestão e deposição final. Com a entrada em funcionamento da CVEIT, cerca de 16 735 MWh foram produzidos a partir da incineração de resíduos, contribuindo assim para a diminuição da produção de eletricidade através de combustíveis fósseis. Além da produção de eletricidade, a CVEIT permitiu atribuir uma melhor finalidade para cerca de 68 650 ton de resíduos, ou seja, a sua incineração e conseqüentemente a produção de eletricidade. Pode-se assim concluir que a CVEIT contribui para uma melhor gestão dos resíduos da região, bem como para a produção de eletricidade.

O plano de trabalho traçado inicialmente tinha como objetivo analisar a recuperação de energia mensal a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos (RSU); no entanto, devido à indisponibilidade de dados, a análise foi somente efetuada para os anos de 2016 e 2017. Durante a pesquisa bibliográfica verificou-se que o uso da fórmula R_1 para o cálculo do indicador de recuperação de energia das unidades de incineração é um tema pouco explorado, e que os estudos efetuados são todos anteriores a 2011. Seria então interessante atualizar esta informação para o total das unidades de incineração, e perceber de que modo estas contribuem para indicador de recuperação de energia não só para a ilha Terceira como para o nível nacional e Europeu.

Na verdade, para as unidades de incineração de Portugal não existe nenhum trabalho sobre a determinação da fórmula R_1 para cada unidade, pois só existe um estudo que determina a média ponderada das unidades de incineração, no global. Isto não nos permite efetuar comparações individuais com as outras três unidades de incineração existentes em Portugal, acabando esta por ser mais uma limitação identificada através da realização deste estudo, gerando também uma oportunidade de investigação futura.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Scarlat, N., Fahl, F. & Dallemand, "Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. Waste Biomass Valor (2018)," 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0297-7>.
- [2] S. O. Lu Sun, Minoru Fujii, Tomohiro Tasaki, Huijuan Dong, "Improving waste to energy rate by promoting an integrated municipal solid-waste management system. Resources, Conservation and Recycling", Volume 136, pages 289-296, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.005>. [Accessed: 08-Jun-2018].
- [3] C. S. T. Sabbas, A. Poletini, R. Pomi, T. Astrup, O. Hjelm, P. Mostbauer, G. Cappai, G. Magel, S. Salhofer, "Management of municipal solid waste incineration residues," Waste Management, pages 61–88, 2003.
- [4] "G. McKay. "Characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review". Chemical Engineering Journal, Volume 86, pages 343-368 ,2002.
- [5] Y. Wang, S. Geng, P. Zhao, H. Du, Y. He, J. "Crittenden Cost–benefit analysis of GHG emission reduction in waste to energy projects of China under clean development mechanism. Resources Conservation and Recycling", Volume 109 pages 90-95, 2016.
- [6] A. Damgaard, C. Riber, T. Fruergaard, T. Hulgaard, T.H. Christensen." Life-cycle-assessment of the historical development of air pollution control and energy recovery in waste incineration " Waste Management", Volume 30, no.7 pages 1244-1250, 2010.
- [7] A. Bosmans, I. Vanderreydt, D. Geysen, L. Helsen "The crucial role of waste-to-energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review". Journal of Cleaner Production, Volume 55, pages 10-23, , 2013.
- [8] C. Psomopoulos, A. Bourka, N.J. Themelis "Waste-to-energy: a review of the status and benefits in USA", Waste Management, Volume 29 pages 1718-1724, 2009.
- [9] M. Grosso, A. Motta, and L. Rigamonti, "Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive," Waste Management , Volume 30, no. 7, pages 1238–1243, 2010.

- [10] I. E. Agency, Ed., “Key world energy statistics,” 2017. [Online]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [11] I. P. INE, “Estatísticas do Ambiente 2016,” 2017. [Online]. Available: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOE_Spub_boui=277089809&PUBLICACOESmodo=2. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [12] S. Viegas, “Caracterização e Quantificação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD)”, Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa, Lisboa, 2012.[Online]. Available:<https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/11364/1/Tese%20de%20mestrado.pdf>. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [13] H. D. Beyene, A. A. W. And, and T. G. Ambaye, “Current updates on waste to energy (WtE)”, *Renewable Energy Focus*, Volume 24, pages 1-11, 2018.
- [14] “Municipal waste statistics,” 2018. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_treated_in_Europe. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [15] “Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao conselho, ao comité económico e social Europeu e ao comité das regiões: Para uma economia circular: programa para acabar com os resíduos na Europa,” 2014.[Online]. Available:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/pt/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0398R%2801%29>. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [16] Agência Portuguesa do Ambiente, “Persu 2020 - Avaliação Ambiental,” 2014. [Online]. Available: http://www.apambiente.pt/_zdata/AAE/PERSU_2020_RNT_25_08_14.pdf. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [17] Agência Portuguesa do Ambiente, “Relatório de Avaliação - PERSU 2020,” 2017.[Online]. Available: https://apambiente.pt/_zdata/Politic/Residuos/Residuos_Urbanos/RA_PERSU_2016.pdf. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [18] A. Lombardia, L; Carnevaleb, E; Cortic, “A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste”, *Waste Management*, Volume 37, pages 26–44, 2015.

-
- [19] U. Arena, "Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review," *Waste Management*, Volume 32, pages 625–639, 2012.
- [20] A. Kumar and S. R. Samadder, "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste," *Waste Management*, Volume 141, pages 2013-2044, 2017.
- [21] E. Commission, "Integrated Pollution Prevention and Control. Draft Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration," *Waste Treatment and Disposal*, 2006. [Online]. Available: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/translation/index.html>. [Accessed: 04-Mar-2018].
- [22] B. Leckner, "Process aspects in combustion and gasification Waste-to-Energy (WtE) units," *Waste Management*, Volume. 37, pages 13–25, 2015.
- [23] J. P. Roy, M. K. Mishra, and A. Misra, "Parametric optimization and performance analysis of a waste heat recovery system using Organic Rankine Cycle," *Energy*, Volume. 35, no. 12, pages 5049–5062, 2010.
- [24] "Decreto-Lei n.º 127/2013 de 30 de agosto relativo ao regime de emissões industriais," *Diário da Republica*, pages 5048–5095, 2013.
- [25] M. Quina, "Processos de inertização e valorização de cinzas volantes - Incineração de Resíduos Sólidos Urbano," Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2005. [Online]. Available: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/2055>. [Accessed: 07-Mar-2018].
- [26] "Decreto-Lei n.º 73/2011, que altera o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos," *Diário da Republica*, pages 3251 - 3300, 2011.
- [27] "Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE," *Jornal Oficial da União Europeia*, pages 16–62, 2009.
- [28] Parlamento Europeu e do Conselho, "Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Setembro de 2001 relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade," *Jornal Oficial da União Europeia*, Volume 6, pages 33–40, 2001.

- [29] “Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos,” *Jornal Oficial da União Europeia*, pages 3–30, 2008.
- [30] “Diretiva (UE) 2015/1127 da Comissão de 10 julho de 2015 que altera o anexo II da Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas,” *Jornal Oficial da União Europeia* Volume. 2015, no. 8, pages 48–53, 2015.
- [31] D. O. Reimann, “CEWEP Energy Report (Status 2001 - 2004),” Volume. 49, pages 1–43, 2005.[Online]. Available:http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2013/01/250_11_07_06_CEWP-Report_Final_Version.pdf. [Accessed: 18-May-2018].
- [32] D. O. Reimann, “CEWEP Energy Report III (Status 2007-2010),” no. December, pages 1–35, 2013.[Online]. Available:http://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2017/09/13_01_15_cewep_energy_report_iii.pdf. [Accessed: 18-May-2018].
- [33] W. Liu, “Environmental Effects Optimizing energy recovery level of a Dutch waste incineration facility,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, Volume 40, no. 6, pages 727–733, 2018.
- [34] “Relatório de Gestão e Contas 2017 - Teramb.”, 2018.[Online]. Available: <http://www.teramb.pt/a-teramb/documentos/#1533468770573-eaddab71-58e8>. [Accessed: 29-Jul-2018].
- [35] “TERAMB - Empresa Municipal de Gestão e Valorização Ambiental da ilha Terceira,” 2013. [Online]. Available: <http://www.teramb.pt/>. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [36] “Relatório de Gestão e Contas 2016 - Teramb.”, 2017[Online]. Available: http://www.teramb.pt/index.php?option=com_zoo&task=item&item_id=43&Itemid=106. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [37] A. e T. Secretaria Regional da Energia, “Resíduos,” 2017. [Online]. Available: <http://rea.azores.gov.pt/reaa/12/residuos/398/residuos-urbanos>. [Accessed: 08-May-2018].
- [38] “Plano de Atividade e Orçamento 2017 - Teramb.”, 2017 [Online]. Available: http://www.teramb.pt/index.php?option=com_zoo&task=category&category_id=1&Itemid=106. [Accessed: 26-Mar-2018].

- [39] TERAMB, “Reordenamento do aterro intermunicipal da ilha Terceira e valorização energética dos resíduos sólidos urbanos do grupo central e ocidental - Resumo não técnico,” 2014. [Online]. Available: <http://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/214229A6-98CB-4F68-8803-EDA4E928913E/937923/0RELATÓRIOTÉCNICORECAPE.pdf>. [Accessed: 10-Apr-2018].
- [40] EDA, “Caracterização das Redes de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica em 2016,” 2017. [Online]. Available: <http://www.eda.pt/EDA/DocsDistribuicao/CARE2016.pdf>. [Accessed: 16-Apr-2018].
- [41] EDA, “Operador de Programa - Área Programática Energias Renováveis.” [Online]. Available: <http://eeagrants-azores.pt/quem-somos/>. [Accessed: 12-Apr-2018].
- [42] SREA, “Consumo de Energia Elétrica.” [Online]. Available: <http://srea.azores.gov.pt/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2FRelatoriosVarios%2FEnergia-Consumo&rs:Command=Render>. [Accessed: 27-Apr-2018].
- [43] SREA, “Estimativas da População Média.” [Online]. Available: <http://srea.azores.gov.pt/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2FDemografia%2FEstimativas+da+População+Média&rs:Command=Render>. [Accessed: 27-Apr-2018].
- [44] EDA, “Relatório de Contas,” 2011. [Online]. Available: <http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Paginas/Relatorios.aspx#>. [Accessed: 27-Apr-2018].
- [45] EDA, “Relatório de Contas,” 2016. [Online]. Available: <http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Paginas/Relatorios.aspx#>. [Accessed: 27-Apr-2018].
- [46] SREA, “Produção de Energia Elétrica.” [Online]. Available: <http://srea.azores.gov.pt/ReportServer/Pages/ReportViewer.aspx?%2FRelatoriosVarios%2FEnergia-Produção&rs:Command=Render>. [Accessed: 28-Apr-2018].
- [47] ERSE, “Rotulagem de Energia Elétrica.” [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/comparacaoentrecomercializadores/Paginas/default.aspx>. [Accessed: 02-May-2018].
- [48] EDA, “Relatório e Contas,” 2016. [Online]. Available: <http://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Paginas/Relatorios.aspx>. [Accessed: 08-

- May-2018].
- [49] EDA, “Rotulagem.” [Online]. Available: <http://www.eda.pt/Regulacao/Rotulagem/Paginas/default.aspx>. [Accessed: 05-May-2018].
- [50] L. Tarelho, “‘Conversão de energia e emissões’, Apontamentos da disciplina de Energia e Ambiente,” Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
- [51] P. da S. Marques, “Dissertação de Mestrado ‘Impacto Económico , Energético E Ambiental Da Produção Renovável Na Ilha Terceira,’” Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014. [Online]. Available: <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/4289> [Accessed: 10-May-2018].
- [52] DGEG, “Densidades dos Produtos de Petróleo.” [Online]. Available: www.dgeg.gov.pt/wwwbase/wwwinclude/ficheiro.aspx?access=1&id=13919. [Accessed: 10-May-2018].
- [53] Eurosta, “Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas.” [Online]. Available: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4fFbjMJ6Q6kJ:www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PCI_Combustibles_Carburantes_final_valores_Update_2014_0830376a.xlsx+&cd=15&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt. [Accessed: 10-May-2018].
- [54] G. dos Açores, “Tabela de preços em vigos.” [Online]. Available: http://www.azores.gov.pt/Portal/pt/entidades/srtop-fracde/textoTabela/Precos_em_vigor.htm. [Accessed: 10-May-2017].

ANEXOS

ANEXO A – DADOS PARA O CÁLCULO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, CEDIDOS PELA EMPRESA TERAMB

1- Identificação

Empresa:	TERAMB EM
Localização da unidade:	Ribeirinha
Responsável técnico:	

Período de cálculo R1 (dd/mm/aaaa): de 1-jan-16 a 31-dez-16

2- Input/output operacional no período

	Unidade	Medida	Valor	Grandeza	
Resíduos					
2.1-Massa de resíduos entrados na instalação:	ton	báscula	37554,9	M	
2.2-Massa de resíduos descarregados na tremonha - linha:	ton	garra	37554,9	m1	
2.3- Massa de resíduos considerada para cálculo de R1:	ton	garra	37554,9	m	
Energia					
2.4- Vapor total produzido -					
Quantidade:	ton	totalizador caldeira	63052,0	V	
Temperatura:	°C	caldeira	360,0	Tv	
Pressão:	bar	caldeira	42,0	Pv	
2.5- Eletricidade total produzida:	MWh	alternador	10254,8	E	
2.6- Eletricidade exportada:	MWh	telecontagem EDA	8511,8	Ex	
2.7- Vapor exportado:	ton	CPRA	90,0	Vx	
	Gj		250,2		
2.8- Combustível auxiliar -					
Gasóleo:	Litros	fatura	12728,50	Cg	
	Ton		10,63		
Total:	GJ	conforme despacho	454,89	Ca	
2.9- Combustível auxiliar contribuindo para a produção de vapor -					
Gasóleo:	Litros	fatura	12500,00	Caf	
	Ton		10,44		
Total:	GJ	conforme despacho	446,73		
2.10- Eletricidade importada:	MWh	fatura	720,00	Eimp	
2.11- Autoconsumos de vapor não contribuindo para a produção de energia -					
sopradores	Quantidade:	ton	caldeira	1800,00	Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	360,00	Ts
	Pressão:	bar	caldeira	42,00	Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	3,13	
		GJ		5634,00	
ar primário SH	Quantidade:	ton	caldeira	1000,00	Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	165,00	Ts
	Pressão:	bar	caldeira	4,10	Ps

Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,78		
	GJ		2780,00		
ar primário Sat	Quantidade:	ton	caldeira	840,00	Vs
	Pressão:	bar	caldeira	44,00	Ps
Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,58		
	GJ		2167,20		
ar secundário	Quantidade:	ton	caldeira	500,00	Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	165,00	Ts
Pressão:	bar	caldeira	4,10	Ps	
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,78	
desgaseificador	GJ		1390,00		
	Quantidade:	ton	caldeira	5580,00	Vs
Temperatura:	°C	caldeira	165,00	Ts	
	Pressão:	bar	caldeira	4,10	Ps
Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,78		
	GJ		15512,40		
vácuo	Quantidade:	ton	caldeira	1260,00	Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	370,00	Ts
Pressão:	bar	caldeira	42,00	Ps	
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	3,13	
GJ			3943,80		
	Total	GJ	cálculo - somatório	31427,40	

3- Parâmetros operacionais no período

3.1- Temperatura de fumos -	linha	°C	após economizador média mensal	168,00	Tb1
3.2- Parâmetros da água alimentada à caldeira -					
Temperatura:	°C	após pré aquecimento	127,00	Ta	
	Pressão:	bar	69,00	Pa	
Entalpia:	GJ/ton	tabelas de vapor saturado a partir de Ta e Pa	0,50		

4- Cálculo do PCI dos resíduos

Grandeza Unidade Valor

Nota: de acordo com BREF waste incineration, página 591

4.1- Temperatura fumos saída caldeira:	Tb	°C	168,00
4.2- Entalpia do vapor produzido:	$C_{st\ hp}$	GJ/ton	3,13
4.3- Entalpia da água abastecimento caldeira:	$C_{st\ bw}$	GJ/ton	0,50
4.4- Entalpia "líquida" do vapor:	$C_{st\ x}$	GJ/ton	2,63
4.5- PCI do combustível auxiliar:	C_f	GJ/ton	42,80
4.6- Combustível auxiliar com produção de vapor:	m_f	ton	10,44
4.7- Vapor total produzido:	$m_{st\ x}$	ton	63052,03
4.8- Vapor produzido dos resíduos:	$m_{st\ w}$	ton	62916,14

5- Cálculo de R1

Nota: de acordo com a licença ambiental

5.1- Autoconsumos de vapor s/ prod. energia	Epa	GJ	31427,40
5.2- Energia produzida	Ep	GJ	130830,46
5.3- Combustíveis contribuindo para pro. energia	Ef	GJ	446,73
5.4- Energia importada não Ef	Ei	GJ	7194,09
5.5- Energia dos resíduos	Ew	GJ	219309,33
5.6 - Graus dias de aquecimento	GDA	d	260,71
5.7 - Factor correção climática	FCC		1,12

1- Identificação

Empresa: TERAMB EM
 Localização da unidade: Ribeirinha
 Responsável técnico:

Período de cálculo R1 (dd/mm/aaaa): de 1-jan-17 a 31-dez-17

2- Input/output operacional no período

	Unidade	Medida	Valor	Grandeza
Resíduos				
2.1-Massa de resíduos entrados na instalação:	ton	báscula	42434,2	M
2.2-Massa de resíduos descarregados na tremonha - linha:	ton	garra	31096,6	m1
2.3- Massa de resíduos considerada para cálculo de R1:	ton	garra	31096,6	m
Energia				
2.4- Vapor total produzido -				
Quantidade:	ton	totalizador caldeira	66703,8	V
Temperatura:	°C	caldeira	376,0	Tv
Pressão:	bar	caldeira	42,2	Pv
2.5- Eletricidade total produzida:	MWh	alternador	11715,3	E
2.6- Eletricidade exportada:	MWh	telecontagem EDA	8658,4	Ex
2.7- Vapor exportado:				
	ton	CPRA	922,7	Vx
	Gj		2574,3	
2.8- Combustível auxiliar -				
Gasóleo:	Litros	fatura	77470,00	
	Ton		64,69	Cg
Total:	GJ	conforme despacho	2768,62	Ca
2.9- Combustível auxiliar contribuindo para a produção de vapor -				
Gasóleo:	Litros	fatura	44938,00	
	Ton		37,52	
Total:	GJ	conforme despacho	1605,99	Caf
2.10- Eletricidade importada:	MWh	fatura	830,88	Eimp

Valorização Energética de Processos de Incineração de Resíduos

2.11- Autoconsumos de vapor não contribuindo para a produção de energia - sopradores				estimado		
Quantidade:	ton	caldeira	1398,00			Vs
Temperatura:	°C	caldeira	376,04			Ts
Pressão:	bar	caldeira	42,27			Ps
Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	3,15			
		GJ	4403,70			
ar primário SH	Quantidade:	ton	caldeira	1121,81		Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	165,67		Ts
	Pressão:	bar	caldeira	4,12		Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,79		
		GJ	3129,86			
ar primário Sat	Quantidade:	ton	caldeira	1135,75		Vs
	Pressão:	bar	caldeira	44,07		Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,79		
		GJ	3168,74			
ar secundário	Quantidade:	ton	caldeira	355,47		Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	165,79		Ts
	Pressão:	bar	caldeira	4,12		Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,79		
		GJ	991,75			
desgaseificador	Quantidade:	ton	caldeira	6254,71		Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	165,79		Ts
	Pressão:	bar	caldeira	4,12		Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	2,79		
		GJ	17450,65			
vácuo	Quantidade:	ton	caldeira	958,75		Vs
	Temperatura:	°C	caldeira	376,16		Ts
	Pressão:	bar	caldeira	42,25		Ps
	Energia:	Gj/ton	tabelas de vapor	3,15		
		GJ	3020,06			
Total	GJ	cálculo - somatório	32164,75			

3- Parâmetros operacionais no período estimado

3.1- Temperatura de fumos - linha	°C	após economizador média mensal	185,26	Tb1
3.2- Parâmetros da água alimentada à caldeira -				
Temperatura:	°C	após pré aquecimento	127,17	Ta
Pressão:	bar	tabelas de vapor	66,80	Pa
Entalpia:	GJ/ton	saturado a partir de Ta e Pa	0,53	

4- Cálculo do PCI dos resíduos

Grandeza Unidade Valor

Nota: de acordo com BREF waste incineration, página 591

4.1- Temperatura fumos saída caldeira:	Tb	°C	185,26
4.2- Entalpia do vapor produzido:	C _{st hp}	GJ/ton	3,15
4.3- Entalpia da água abastecimento caldeira:	C _{st bw}	GJ/ton	0,53
4.4- Entalpia "líquida" do vapor:	C _{st x}	GJ/ton	2,62
4.5- PCI do combustível auxiliar:	C _f	GJ/ton	42,80
4.6- Combustível auxiliar com produção de vapor:	m _f	ton	37,52
4.7- Vapor total produzido:	m _{st x}	ton	66703,81
4.8- Vapor produzido dos resíduos:	m _{st w}	ton	66213,43

Nota: de acordo com a licença ambiental

5.1- Autoconsumos de vapor s/ prod. energia	Epa	GJ	32164,75
5.2- Energia produzida	Ep	GJ	147868,38
5.3- Combustíveis contribuindo para pro. energia	Ef	GJ	1605,99
5.4- Energia importada não Ef	Ei	GJ	8939,63
5.5- Energia dos resíduos	Ew	GJ	223630,55
5.6 - Graus dias de aquecimento	GDA	d	260,71
5.7 - Factor correção climática	FCC		1,12

ANEXO B – CONSUMO DE ELETRICIDADE, POR SETOR, NA ILHA TERCEIRA, ENTRE 1991 E 2017

	1991	1992	1993	1994
Comércio e Serviços (kWh)	15 039 950	16 035 367	16 888 968	17 097 442
Domésticos (kWh)	29 218 874	30 372 995	31 603 790	31 876 525
Iluminação Pública (kWh)	3 600 784	3 938 530	3 865 721	3 691 660
Industriais (kWh)	8 572 061	8 856 589	9 049 826	10 213 342
Serviços Públicos (kWh)	8 800 797	9 367 320	9 129 304	8 759 642
Total (kWh)	65 232 466	68 570 801	70 537 609	71 638 611
Nº de habitantes	56 037	55 891	55 969	55 630
Consumo Per Capita (kWh per capita)	1 164	1 227	1 260	1 288

Tabela 14 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1991 e 1994 [42].

	1995	1996	1997	1998
Comércio e Serviços (kWh)	17 943 272	18 360 185	20 380 488	22 135 488
Domésticos (kWh)	32 646 297	34 516 021	36 679 905	38 875 525
Iluminação Pública (kWh)	3 707 186	3 441 650	4 154 306	3 584 233
Industriais (kWh)	9 707 704	10 953 278	12 039 320	13 119 198
Serviços Públicos (kWh)	8 567 504	9 545 291	9 587 919	10 430 853
Total (kWh)	72 571 963	76 816 425	82 841 938	88 145 297
Nº de habitantes	55 563	55 584	55 573	55 576
Consumo Per Capita (kWh per capita)	1 306	1 382	1 491	1 586

Tabela 15 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1995 e 1998 [42].

	1999	2000	2001	2002
Comércio e Serviços (kWh)	23 592 544	25 263 690	28 254 837	30 014 294
Domésticos (kWh)	40 883 146	43 325 154	46 412 050	49 361 771
Iluminação Pública (kWh)	4 004 919	4 158 522	4 127 806	4 089 807
Industriais (kWh)	15 765 557	17 040 922	16 932 749	19 681 221
Serviços Públicos (kWh)	10 660 917	11 148 129	12 233 511	11 974 739
Total (kWh)	94 907 083	100 936 417	107 960 953	115 121 832
Nº de habitantes	55 645	55 769	55 984	56 078
Consumo Per Capita (kWh per capita)	1 706	1 810	1 928	2 053

Tabela 16 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1999 e 2002 [42].

	2003	2004	2005	2006
Comércio e Serviços (kWh)	34 932 254	39 153 768	42 625 981	45 770 441
Domésticos (kWh)	52 184 409	55 134 047	58 568 765	60 848 774
Iluminação Pública (kWh)	4 198 527	4 619 515	4 807 691	5 151 688
Industriais (kWh)	20 439 845	22 507 508	23 377 373	25 371 692
Serviços Públicos (kWh)	11 540 182	19 432 825	39 355 765	42 290 449
Total (kWh)	123 295 217	140 847 663	168 735 575	179 433 044
Nº de habitantes	56 223	56 318	56 420	56 509
Consumo Per Capita (kWh per capita)	2 193	2 501	2 991	3 175

Tabela 17 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2003 e 2005 [42].

	2007	2008	2009	2010
Comércio e Serviços (kWh)	48 387 674	51 821 130	51 619 193	52 707 960
Domésticos (kWh)	62 601 830	63 137 659	63 819 724	68 207 864
Iluminação Pública (kWh)	5 545 379	6 050 011	5 948 194	5 971 133
Industriais (kWh)	27 862 806	27 820 768	29 462 526	28 677 313
Serviços Públicos (kWh)	41 444 491	43 865 851	41 395 911	42 149 366
Total (kWh)	185 842 180	192 695 419	192 245 549	197 713 635
Nº de habitantes	56 633	56 645	56 592	56 451
Consumo Per Capita (kWh per capita)	3 282	3 402	3 397	3 502

Tabela 18 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2007 e 2010 [42].

2011	2012	2013	2014
------	------	------	------

Comércio e Serviços (kWh)	52 152 104	55 926 829	55 399 981	55 060 787
Domésticos (kWh)	66 724 744	62 476 768	61 721 221	59 974 410
Iluminação Pública (kWh)	6 367 502	6 656 884	6 104 178	5 416 136
Industriais (kWh)	28 454 163	27 341 520	25 614 972	26 153 865
Serviços Públicos (kWh)	41 534 135	39 399 389	38 269 982	36 029 002
Total (kWh)	195 232 648	190 877 417	187 226 402	182 607 200
Nº de habitantes	56 579	56 640	56 641	56 367
Consumo <i>Per Capita</i> (kWh per capita)	3 451	3 493	3 305	3 239

Tabela 19 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 2011 e 2014 [42].

	2015	2016	2017
Comércio e Serviços (kWh)	56 470 972	57 942 997	54 266 049
Domésticos (kWh)	58 847 954	58 655 881	58 097 909
Iluminação Pública (kWh)	5 017 922	4 874 426	4 779 872
Industriais (kWh)	26 806 720	27 326 173	27 341 520
Serviços Públicos (kWh)	31 804 533	28 470 769	30 425 820
Total (kWh)	178 847 921	177 270 246	174 911 171
Nº de habitantes	56 141	55 955	56 062
Consumo <i>Per Capita</i> (kWh per capita)	3 186	3 168	3 120

Tabela 20 - Consumo de eletricidade, por setor, na ilha Terceira entre 1991 e 2017 [42].

ANEXO C – PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE, POR TIPO DE ORIGEM, NA ILHA TERCEIRA, ENTRE 1991 E 2017

	1991	1992	1993	1994	1995
Fuel	53 330 300	53 551 000	55 740 900	62 928 100	65 005 400
Gasóleo	23 954 600	27 309 300	25 828 800	21 996 100	20 527 950
Geotérmica	0	0	0	0	0
Hídrica	0	108 700	811 900	1 011 600	2 501 800
Eólica	0	0	0	0	0
Resíduos	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Total	77 284 900	80 969 000	82 381 600	85 935 800	88 035 150

Tabela 21 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 1991 e 1995 [46].

1996	1997	1998	1999	2000
------	------	------	------	------

Fuel	66 010 200	92 406 011	105 662 959	114 124 880	117 138 150
Gasóleo	23 803 550	5 096 100	1 429 300	2 613 400	4 333 500
Geotérmica	0	0	0	0	0
Hídrica	2 198 300	3 629 200	2 220 900	942 900	1 717 200
Eólica	0	0	0	0	0
Resíduos	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Total	92 012 050	101 131 311	109 313 159	117 681 180	123 188 850

Tabela 22 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 1996 e 2000 [46].

	2001	2002	2003	2004	2005
Fuel	125 734 840	133 495 670	134 393 080	141 578 550	187 777 550
Gasóleo	784 000	1 965 500	11 680 200	20 818 908	742 091
Geotérmica	0	0	0	0	0
Hídrica	4 543 200	3 075 100	1 765 000	2 649 890	4 453 600
Eólica	0	0	0	0	0
Resíduos	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Total	131 062 040	138 536 270	147 838 280	165 047 348	192 973 241

Tabela 23 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2001 e 2005 [46].

	2006	2007	2008	2009	2010
Fuel	198 319 040	204 043 100	200 809 470	188 154 010	193 984 730
Gasóleo	1 719 886	344 352	95 863	6 553 178	1 106 463
Geotérmica	0	0	0	0	0
Hídrica	3 309 300	3 271 900	1 769 600	412 300	1 368 500
Eólica	0	0	7 110 030	15 601 860	18 275 970
Resíduos	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0	0
Total	203 348 226	207 659 352	209 784 963	210 721 348	214 735 663

Tabela 24 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2006 e 2010 [46].

	2011	2012	2013	2014	2015
Fuel	192 613 330	179 459 700	169 197 000	165 741 710	163 490 151

Gasóleo	1 188 218	1 142 496	2 817 557	2 381 655	5 041 613
Geotérmica	0	0	0	0	0
Hídrica	1 487 300	2 430 500	2 769 070	495 340	0
Eólica	19 036 790	29 242 300	31 633 490	27 858 400	31 252 743
Resíduos	0	0	0	0	0
Fotovoltaica	19 837	35 675	52 200	60 366	56 256
Total	214 345 475	212 310 671	206 469 317	196 537 471	199 840 763

Tabela 25 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2011 e 2015 [46].

	2016	2017
Fuel	155 224 372	143 913 382
Gasóleo	1 113 247	669 738
Geotérmica	0	9 827 425
Hídrica	0	0
Eólica	33 721 930	31 267 333
Resíduos	8 077 356	8 658 350
Fotovoltaica	54 244	45 033
Total	198 191 149	194 381 261

Tabela 26 - Produção de eletricidade, por origem, da ilha Terceira, entre 2016 e 2017 [46].