

ISCTE  Business School

Instituto Universitário de Lisboa

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO NOS
ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS URBANOS**

Constantino Dias Teixeira

Projecto de Mestrado
em Gestão

Orientador:
Mestre Carlos Manuel Martins
Professor Adjunto no ISEL, Administrador da Empresa Geral do Fomento, S.A. (EGF) e da
Valorsul, S.A.

Novembro de 2010

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO NOS ATERROS SANITÁRIOS
DE RESÍDUOS URBANOS

Constantino Dias Teixeira

- Lombada -

RESUMO

O objectivo deste trabalho, realizado no âmbito do mestrado em gestão do ISCTE – Business School, é analisar a viabilidade económica de um projecto de investimento numa unidade de valorização energética do biogás, produzido nos aterros sanitários de resíduos urbanos (RU), bem como demonstrar, para além da sua sustentabilidade económica o seu contributo para a melhoria da qualidade de vida e do ambiente.

O biogás que é produzido nos aterros sanitários (AS), é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado, semelhante ao gás natural, que resulta da decomposição, ao longo do tempo, da fracção orgânica biodegradável dos resíduos urbanos (lixos domésticos) que ali são depositados e que, à semelhança de outras energias alternativas (energia eólica, solar, hidráulica, biomassa, etc.) também é considerado uma fonte de energia renovável (Artigo 2º da Directiva n.º 2001/77/CE, de 27 de Setembro), facto que contribui naturalmente para a redução da factura energética externa de Portugal, no que diz respeito aos combustíveis fósseis.

De salientar que, ao fazer-se o aproveitamento energético do biogás que conta na sua composição com metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), está a evitar-se que as emissões desses gases para a atmosfera contribuam para o efeito de estufa e desta forma para o aquecimento global do planeta.

É neste âmbito que, será analisado como caso de estudo, o investimento num projecto de aproveitamento energético do biogás produzido no Aterro Sanitário de Mato da Cruz, onde o biogás ali produzido é valorizado, economicamente, em energia eléctrica.

Palavras-chave: Biogás, Resíduos Urbanos, Aterros Sanitários, Energias Renováveis.

ABSTRACT

This work, performed under the Master of Management ISCTE - Business School, analyse the economic viability of a project investment in a plant of energy recovery from biogas produced in landfills of municipal waste and as shown, in addition, their economic sustainability for his contribution to improving the quality of life and the environment.

The biogas that is produced in landfills is a gaseous fuel with a high energy content similar to natural gas, which results from the decomposition, over time, the biodegradable organic fraction of the household waste that there are deposited and, like other alternative energy sources (wind, solar, hydro, biomass, etc.) is also considered a renewable energy source (Article 2 of Directive No. 2001/77/EC of 27 September) , which naturally contributes to reducing the energy bill outside of Portugal, in relation to fossil fuels.

Important to underline, to make himself the energetic use of biogas, which relies in its composition methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), is avoided that emissions of greenhouse gases into the atmosphere contribute to the greenhouse gases and thus to global warming.

In this context it will be consider a real case for investment in an energy recovery project using landfill gas of Mato da Cruz, where there biogas produced is valued economically in electric energy.

Keywords: Biogas, Urban Waste, Landfill, Renewable Energy

“A essência do conhecimento consiste em aplicá-lo, uma vez possuído.”
Confúcio

“Querer é Poder”
Lema dos alunos do Instituto Militar dos Pupilos do Exército.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador da tese, Mestre Carlos Manuel Martins, Administrador da EGF – Empresa Geral do Fomento e da Valorsul, S.A., pela competência, disponibilidade, apoio e amizade que sempre manifestou durante a preparação desta tese de mestrado.

À Administração da Valorsul nas pessoas do Dr. João Figueiredo, Sr. Fernando Queirós, Eng.º Tomás Serra e Dr. Fernando Rosa, pelo apoio financeiro que me proporcionaram para a realização desta tese.

A todos os professores do ISCTE Business School pela forma motivadora como leccionaram o Mestrado Executivo.

Aos meus pais, à Cristina, à minha filha Cláudia, aos meus irmãos e cunhados, pela amizade e apoio.

Obrigado a todos

ÍNDICE GERAL

Resumo

Abstract

Agradecimentos

Lista de abreviaturas

Lista de quadros, figuras e fórmulas

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. OBJECTIVOS.....	3
1.3. METODOLOGIA.....	4
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1. GESTÃO E TRATAMENTO DO BIOGÁS PRODUZIDO NOS ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS URBANOS.....	5
2.1.1. Resíduos Urbanos – definição.....	5
2.1.2. Quantificação e caracterização dos RU.....	5
2.1.3. Composição física típica dos RU em Portugal.....	5
2.2. BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO DE RESÍDUOS URBANOS.....	11
2.2.1. História do biogás.....	11
2.2.2. Formação e características do biogás.....	13
2.2.3. Factores que influenciam a produção do biogás.....	14
2.2.4. Fases da produção do biogás.....	16
2.2.5. Tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos urbanos.....	19
2.2.6. Estimativas teóricas da produção de biogás.....	21
2.2.7. Benefícios do aproveitamento do biogás de aterro sanitário de resíduos urbanos.....	22

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO.....	24
3.1. VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ.....	24
3.1.1. Características principais do AS de Mato da Cruz.....	24
3.1.2. Construção e impermeabilização das células de resíduos urbanos.....	26
3.1.3. Resíduos depositados.....	27
3.1.4. Composição dos resíduos depositados.....	28
3.1.5. Sistema de drenagem e queima do biogás.....	29
3.2. ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO.....	33
3.2.1. Energia e potência eléctrica extraída do biogás.....	36
3.3. DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	37
3.3.1. Redução de emissões de gás com efeito de estufa.....	38
3.3.2. Representação esquemática de uma Unidade de Valorização Energética.....	39
CAPÍTULO 4 – MEMÓRIA DESCRITIVA DO PROJECTO.....	40
4.1. UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	40
4.1.1. Descrição geral da unidade.....	40
4.2. FUNCIONAMENTO DA UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	41
4.2.1. Rede de drenagem do biogás.....	41
4.2.2. Compressores.....	42
4.2.3. Moto geradores.....	42
4.2.4. Instrumentação e sistemas de comando e controle da unidade de valorização energética.....	43
4.2.5. Paragem de emergência.....	44
4.2.6. Sistemas de emergência e de segurança.....	45
4.2.7. Características do recinto destinado aos equipamentos.....	45
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO PROJECTO	
5.1. LOCALIZAÇÃO DO PROJECTO.....	46

5.2. PRESSUPOSTOS.....	46
5.2. 1. Preços constantes vs preços correntes.....	47
5.2.2. Taxa de inflação.....	47
5.3. TIPOLOGIA DO PROJECTO DE INVESTIMENTO.....	47
5.4. RECEITAS DE EXPLORAÇÃO.....	47
5.5. CUSTOS DE EXPLORAÇÃO.....	48
5.5.1. Custos com a manutenção dos equipamentos.....	48
5.5.2. Encargos com autoconsumo de energia eléctrica.....	50
5.5.3. Encargos com seguros.....	50
5.5.4. Outros custos.....	50
5.6. ENCARGOS COM PESSOAL.....	51
5.7. CUSTOS TOTAIS DE EXPLORAÇÃO.....	52
5.8. INVESTIMENTO EM CAPITAL FIXO.....	52
5.8.1. Amortizações.....	53
5.8.2. Valor residual.....	53
5.9. INVESTIMENTO EM FUNDO DE MANEIO NECESSÁRIO.....	53
5.10. DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS PREVISIONAIS.....	55
5.11. <i>CASH FLOW</i> DO PROJECTO.....	55
5.12. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROJECTO.....	56
5.13. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	57
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	61
6.1. CONCLUSÕES.....	61
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63
ANEXOS.....	65
ANEXO A – Localização do projecto.....	66
ANEXO B – Rede de biogás do aterro sanitário de Mato da Cruz.....	67
ANEXO C – Modelo LandGEM – cálculo teórico da produção do biogás do AS de Mato da Cruz....	68
ANEXO D – Implantação da unidade de valorização energética.....	74
ANEXO E – Características técnicas do grupo moto gerador.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS

AEA	Agência Europeia do Ambiente
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AS	Aterro Sanitário
BEP	Barris Equivalentes de Petróleo
CEE	Comunidade Económica Europeia
CH₄	Símbolo Químico do Metano
CO₂	Símbolo Químico do Dióxido de Carbono
CTRSU	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EEA	European Environment Agency
EM	Estados Membros
ENE	Estratégia Nacional para a Energia
EPA	Environmental Protection Agency of USA
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FER	Fontes de Energia Renovável
FMN	Fundo Maneio Necessário
FSE	Fornecimento e Serviços Externos
GEE	Gás com Efeito de Estufa

GW	Gigawatt
INE	Instituto Nacional de Estatística
INR	Instituto dos Resíduos
IPPC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KW	Kilowatt
kWe	Kilowatt eléctrico
KV	Kilovolts
KVA	Kilovolts amperes
MAOTDR	Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
Mg	Megagrama (1 tonelada)
MW	Megawatt (1000 Kw)
MWh	Megawatt-hora (unidade de energia eléctrica)
Nm³	Normal metros cúbico (quando um gás é medido à temperatura de 20 ° C e à pressão de 1 atmosfera)
O₂	Símbolo Químico do Oxigénio
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEAD	Tubo de Polietileno de Alta Densidade
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (1997-2006)
PERSU II	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (2006-2016)
PIBpm	Produto Interno Bruto a preços de mercado
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PNAC	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
PRI	Período de Recuperação do Investimento

QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
REA	Relatório do Estado do Ambiente
REN	Rede Eléctrica Nacional
RU	Resíduos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SEP	Sistema Eléctrico de Serviço Público
SIG	Sistema Integrado de Gestão
TCO₂E	Toneladas de dióxido de carbono equivalente (unidade de medida usada para indicar a quantidade de gás com efeito de estufa, como é o caso do metano, com efeitos no aquecimento global do planeta)
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TIR	Taxa Interna de Rentabilidade
USEPA	United States Environment Protection Agency
UVE	Unidade de Valorização Energética
VAL	Valor Actual Líquido
Wh	Watt.hora

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1. Produção de energia eléctrica a partir do biogás gerado nos aterros sanitários

Quadro 2.2. Principais componentes do biogás

Quadro 2.3. Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis

Quadro 3.1. Quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis depositados

Quadro 3.2. Quantidade de resíduos urbanos depositados e respectiva composição

Quadro 3.3. Volume anual de biogás produzido e extraído

Quadro 3.4. Energia e potência disponível no biogás

Quadro 3.5. Estimativa de redução de emissões de CO_2

Quadro 5.1. Pressupostos de cálculo

Quadro 5.2. Volume de negócios

Quadro 5.3. Disponibilidade dos grupos moto geradores

Quadro 5.4. Custos de manutenção

Quadro 5.5. Custos com pessoal

Quadro 5.6. Custos de exploração

Quadro 5.7. Despesas de investimento

Quadro 5.8. Investimento em fundo de maneo necessário

Quadro 5.9. Demonstração de resultados previsionais

Quadro 5.10. *Cash flow* operacional

Quadro 5.11. Cálculo do VAL, TIR e PRI

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Evolução da produção total e da capitação de RU em Portugal Continental

Figura 2.2. Evolução da capitação anual de resíduos urbanos em Portugal e na UE

Figura 2.3. Composição física dos resíduos urbanos (Área Metropolitana de Lisboa, Norte)

Figura 2.4. Anatomia de um aterro sanitário

Figura 2.5 - Fases da produção de biogás em aterros de resíduos urbanos

Figura 2.6. Potencial do biogás durante as fases de exploração do aterro.

Figura 2.7. Desenho esquemático das etapas de funcionamento de um motor ciclo Otto

Figura 2.8. Desenho esquemático de uma turbina a gás

Figura 3.1. Vista aérea do aterro sanitário de Mato da Cruz

Figura 3.2. Pormenor do sistema de impermeabilização e drenagem de uma célula de RU

Figura 3.3. Lagoas da Estação de Tratamento dos Lixiviados

Figura 3.4. Cabeçais instalados nos poços de captação do biogás

Figura 3.5. Colector central de ligação dos poços de biogás do antigo AS de Vila Franca de Xira

Figura 3.6. Queimador de biogás

Figura 3.7. Recolha de uma amostra de biogás e análise das características físico químicas

Figura 3.8. Composição média mensal do biogás produzido na célula de Vila Franca de Xira

Figura 3.9. Composição média mensal do biogás medido no queimador

Figura 3.10. Evolução do volume anual de metano produzido e extraído

Figura 3.11. Representação esquemática de uma unidade de valorização energética do biogás

Figura 4.1. Rede de captação do biogás

Figura 4.2. Compressores de bombagem do biogás

Figura 4.3. Fotografia do moto gerador

Figura 4.4. Sistema de tratamento de gases

Figura 4.5. Queimador de emergência

Figura 4.6. Recinto de implantação da Unidade de Valorização Energética

LISTA DE FORMULAS

Fórmula 1. Equação aplicada à produção do metano contido no biogás

Fórmula 2. Cálculo do potencial de produção de metano nos aterros

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A crescente preocupação das sociedades modernas com o impacto ambiental ao nível da produção de gases com efeito de estufa (GEE), causados pelo recurso intensivo de combustíveis fósseis - petróleo, carvão e gás natural -, aliada ao facto de assistirmos à permanente instabilidade dos preços do petróleo cujas reservas caminham rapidamente para o seu esgotamento, forçou os governos dos países desenvolvidos a adoptar políticas de promoção das energias renováveis – eólica, hídrica, biogás, solar, marés, geotécnica e biomassa – menos poluentes, capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotáveis, concorrenciais no mercados da energia e geradoras de valor e de emprego.

Porém, não é só a queima de combustíveis fósseis que contribui para a produção de GEE. O biogás produzido nos aterros sanitários (AS), resultante da decomposição da fracção biodegradável dos resíduos urbanos (RU), tem na sua composição dois gases, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) que também contribuem de uma forma significativa para o aquecimento global do planeta. Embora a sua presença seja menor na atmosfera, o metano contém um poder de aquecimento global 21 vezes maior que o dióxido de carbono (EPA, 2007).

Apesar disso, a deposição de RU em aterros sanitários continua a ser uma das formas mais utilizadas na gestão de resíduos. Mesmo considerando a recente política europeia de redução da deposição em aterro da fracção orgânica biodegradável dos RU, o aterro sanitário continuará a ser uma infra-estrutura importante na sua gestão, porque há sempre a necessidade de proceder à deposição final, em aterro sanitário, de todos os RU não passíveis de reciclagem ou aproveitamento energético, ou como destino final dos refugos produzidos nos processos de tratamento (e.g. compostagem, incineração, digestão anaeróbica da fracção orgânica de RU), ou mesmo como opção única de tratamento.

Por outro lado, a produção do biogás é uma consequência da deposição de RU, e nesse sentido, a sua captação traduz-se no aproveitamento energético para a produção de electricidade, com recurso a motores de combustão interna e geradores de energia eléctrica, garantindo deste modo o seu tratamento e valorização enquanto sub-produto da gestão dos

RU, com naturais benefícios económicos, ambientais, sociais e técnicos que procuraremos demonstrar neste trabalho. Por outro lado, ao fazer-se o aproveitamento energético do biogás, está a queimar-se o metano, convertendo-o em combustível, evitando assim que as suas emissões passem para a atmosfera.

De sublinhar que, as tecnologias disponíveis para a valorização energética do biogás, não são tão recentes como se pode imaginar. Os primeiros projectos de aproveitamento de biogás em aterros foram implantados ainda na década de 70 nos Estados Unidos, como medidas de controlo das emissões de metano nesses locais e também como uma nova fonte de energia para fazer face às crises do petróleo daquela época. Posteriormente, novos projectos surgiram em outros países, principalmente na Europa, sendo que actualmente mais de 900 aterros sanitários no mundo possuem unidades de aproveitamento energético do biogás.

Contudo, a incineração e processamento biológico são, essencialmente, as duas formas adoptadas nos Estados Unidos e na Europa para se produzir energia eléctrica, a partir dos RU, com a quase total eliminação da necessidade de aterros sanitários. No primeiro caso, os riscos ambientais associados à incineração (emissão de dioxinas e furanos) têm sido progressivamente minimizados com o desenvolvimento, nos últimos anos, de sistemas de filtros capazes de reduzir substancialmente essas emissões.

A controvérsia, porém, ainda persiste. Na Alemanha, têm sido concedidos licenciamentos a um número crescente de unidades que utilizam a técnica da incineração de RU com recuperação energética. Em contraposição, em países como Suécia, Canadá, Bélgica e Holanda, alguns desses incineradores têm sido fechados. Em Portugal existem actualmente três unidades de incineração de RU com recuperação de energia eléctrica, uma em Loures gerida pela empresa Valorsul, S.A., outra no Porto e a terceira na ilha da Madeira.

O trabalho que agora se apresenta irá debruçar-se sobre o estudo da viabilidade económica de um projecto de investimento numa instalação de aproveitamento e valorização energética do biogás produzido no Aterro Sanitário de Mato da Cruz.

O Aterro Sanitário de Mato da Cruz, está localizado no concelho de Vila Franca de Xira, a cerca de 20 Km da cidade de Lisboa, foi inaugurado em Julho de 1998 e tem uma capacidade aproximada de 3.550.000 m³, para deposição de RU. Este AS é propriedade da empresa

Valorsul, S.A., que é responsável pelo tratamento e valorização das cerca de um milhão de toneladas de Resíduos Urbanos produzidas, por ano, em 19 Municípios da Grande Lisboa e da Região Oeste: Alcobaça, Alenquer, Amadora, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lisboa, Loures, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço e Torres Vedras e Vila Franca de Xira.

O Aterro Sanitário de Mato da Cruz é uma infra-estrutura constituída por depósitos revestidos com materiais impermeáveis para impedir que os líquidos libertados pelos resíduos - os lixiviados - se infiltrem e poluam o subsolo. No AS, existe também uma rede de extracção e queima do biogás, que será utilizado para a produção da energia eléctrica. Os resíduos recebidos no aterro são depositados de uma forma organizada, compactados e cobertos diariamente de molde a evitar-se problemas ambientais e de saúde pública.

Nos termos da legislação relativa à Prevenção e Controlo Integrados da Poluição, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) certificou o Aterro Sanitário de Mato da Cruz para o exercício da actividade de aterro de resíduos não perigosos, até Março de 2013.

Importa também referir que, a actividade industrial ligada ao tratamento e valorização dos RU é normalmente exercida em regime de exclusividade, atribuído às empresas aquando da concessão dos sistemas por parte do Estado Português, como é o caso da Valorsul. Assim sendo, a concorrência tende a ser reduzida, o que potencia o retorno do capital investido nestes projectos.

1.2. OBJECTIVOS

O presente trabalho tem como objectivo analisar a viabilidade económica de um projecto de investimento numa unidade de valorização energética do biogás, produzido nos aterros sanitários de (RU), bem como demonstrar, para além da sua sustentabilidade económica, o seu contributo para a melhoria da qualidade de vida e do ambiente.

1.3. METODOLOGIA

Para alcançar os objectivos propostos, este projecto foi estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo de introdução, é efectuado um enquadramento geral relacionado com o tema em estudo, incluindo a metodologia e estruturação da tese.

O segundo capítulo é dedicado à revisão da literatura, abordando-se as temáticas relacionadas com a produção e aproveitamento do biogás. A revisão da literatura baseou-se na consulta de livros de autores nacionais e estrangeiros, em estudos de casos, nacionais e internacionais relacionados com este tema, em fontes de informação, como DGGE, APA, INE, artigos científicos e a teses de mestrado.

O terceiro capítulo, estudo de caso, encontra-se estruturado em três sub-capítulos. Apresenta no primeiro sub-capítulo o aterro sanitário de Mato da Cruz, descrevendo-se as principais características construtivas do aterro, os sistemas já instalados para a captação do biogás, os equipamentos destinados ao tratamento das águas lixivantes e ainda os meios de controlo e monitorização dos efluentes susceptíveis de causar danos ao ambiente, designadamente o biogás e os lixiviados. No segundo sub-capítulo apresentam-se os cálculos para determinar a produção de metano por resíduos depositados em aterro e a energia eléctrica extraída do biogás. O terceiro e último sub-capítulo analisa o dimensionamento da unidade de valorização energética, terminando com uma referência à redução de emissões de gás com efeito de estufa e à representação esquemática de uma unidade de valorização energética.

No quarto capítulo desenvolve-se a memória descritiva do projecto, do caso de estudo, com a descrição geral do sistema de aproveitamento do biogás, dimensionamento e características dos equipamentos mecânicos e eléctricos a instalar.

No quinto capítulo é feita a análise de viabilidade económica do projecto, com base nos pressupostos previamente formulados, terminando o capítulo com a análise de sensibilidade a alterações nas variáveis de maior risco.

O sexto e último capítulo é reservado às conclusões e recomendações para estudos futuros, decorrentes da análise global ao trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. GESTÃO E TRATAMENTO DO BIOGÁS PRODUZIDO NOS ATERROS SANITÁRIOS DE RESÍDUOS URBANOS

2.1.1. Resíduos Urbanos - definição

De acordo com o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, os resíduos urbanos são designados como sendo os resíduos domésticos ou outros resíduos semelhantes, em razão da sua natureza ou composição, nomeadamente os provenientes do sector de serviços ou de estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que, em qualquer dos casos, a produção diária não exceda 1100 litros por produtor.

2.1.2. Quantificação e caracterização dos RU

O conhecimento das quantidades de resíduos, bem como das suas características, é fundamental para o planeamento e gestão eficiente dos sistemas de recolha, armazenamento, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, designadamente para determinar, por exemplo, a dimensão e localização das infra-estruturas de resíduos, as necessidades de mão-de-obra, o equipamento requerido, os impactes ambientais (Martinho, M.G, 1999).

As variações nos quantitativos de RU produzidos, ao longo do tempo relacionam-se com diversos factores, nomeadamente:

- a) Dimensão do agregado familiar;
- b) Tipo e dimensão da habitação;
- c) O clima e a estação do ano;
- d) O nível de vida das populações;
- e) Situação geográfica (e.g. interior/litoral);
- f) Estação do ano.

O indicador mais utilizado para expressar os quantitativos de resíduos produzidos é a capitação, ou seja, a produção de RU (em peso) por habitante e por unidade de tempo, ano ou dia (Figura 2.1.).

No que se refere à quantidade de resíduos produzidos por habitante, verifica-se que a capitação anual em 2009, em Portugal Continental, foi de 511 kg/hab.ano, o que corresponde a uma produção diária de RU de 1,4 kg por habitante, evidenciando uma estabilização relativa face ao ano anterior. No que respeita à diferença evidenciada entre os anos de 2007 e 2008 dever-se-á em grande parte às alterações das regras de preenchimento no âmbito das plataformas informáticas de registo que evoluíram no sentido de proporcionar uma melhor qualidade dos dados obtidos, (APA, 2010).

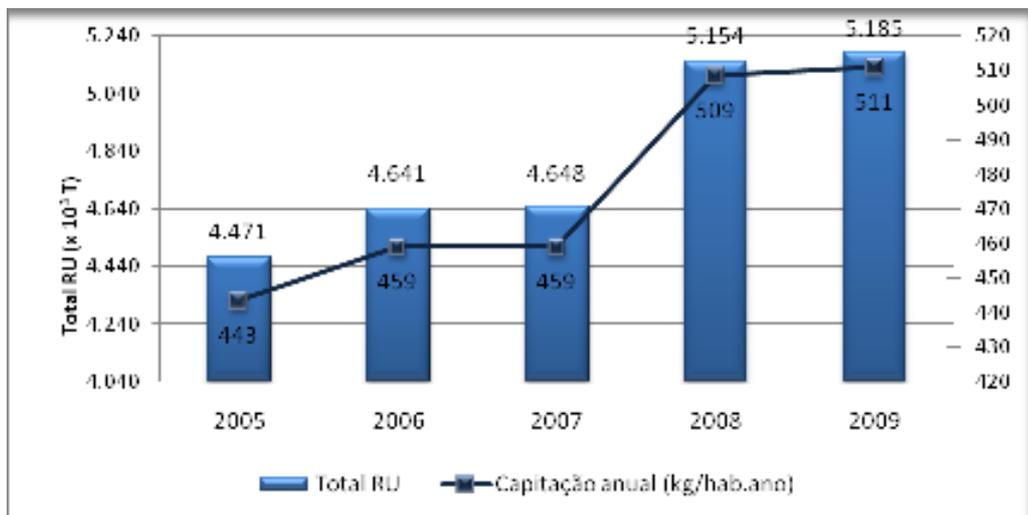
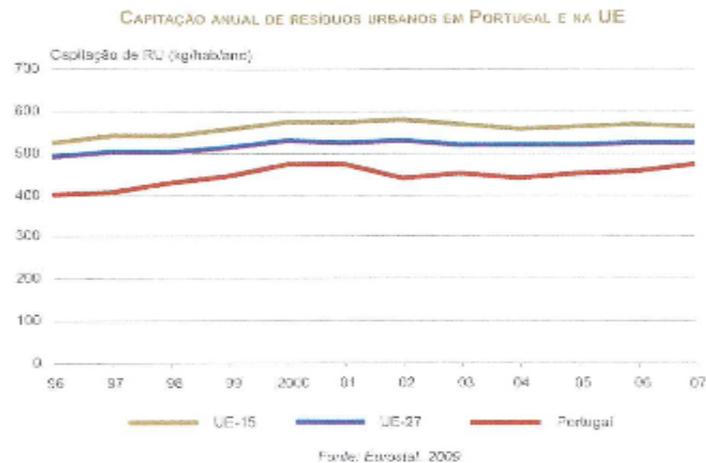


Figura 2.1. Evolução da produção total e da capitação de RU em Portugal Continental, para o período 2005 – 2009 (Fonte: APA, 2010)

Comparativamente com os 27 Estados-membros da UE, no período compreendido entre 1996 e 2007, a capitação anual registada em Portugal, no que diz respeito à produção de RU, manteve-se sempre abaixo da capitação média europeia (REA, 2008). Em 2007, a capitação média da UE-27 foi de 522 kg/habitante e Portugal encontrava-se em 11º lugar no ranking europeu (459kg /habitante). No mesmo ano, o país que apresentou maior capitação anual foi a Dinamarca (801 kg/habitante), tendo-se registado a menor capitação na República Checa (294 kg/habitante) (Figura 2.2.).

Figura 2.2. Evolução da capitação anual de resíduos urbanos em Portugal e na UE

(Fonte: Eurostat, 2009)



2.1.3. Composição física típica dos RU em Portugal

A composição dos resíduos numa determinado local ou região varia em função de um conjunto de factores que se assemelham aos que determinam as variações na produção de resíduos, referidos no ponto anterior.

Na composição física típica dos resíduos urbanos, os principais tipos de materiais que se encontram são os seguintes:

- Resíduos fermentáveis/putrescíveis, onde se incluem os resíduos orgânicos provenientes da preparação e consumo de alimentos, vegetais, os restos dos alimentos, fruta, etc.;
- Papel e cartão;
- Plásticos;
- Vidro;
- Metais Ferrosos;
- Têxteis (fraldas, roupas);
- Finos (todos os resíduos com menos 20 mm);

- Outros resíduos.

Para além da produção e composição, os RU são também caracterizados através dos seguintes parâmetros:

- Peso Específico;
- Humidade;
- Poder calorífico;
- Relação Carbono/Azoto.

A composição física média dos resíduos na Área Metropolitana de Lisboa (Norte), está traduzida na Figura 2.3.

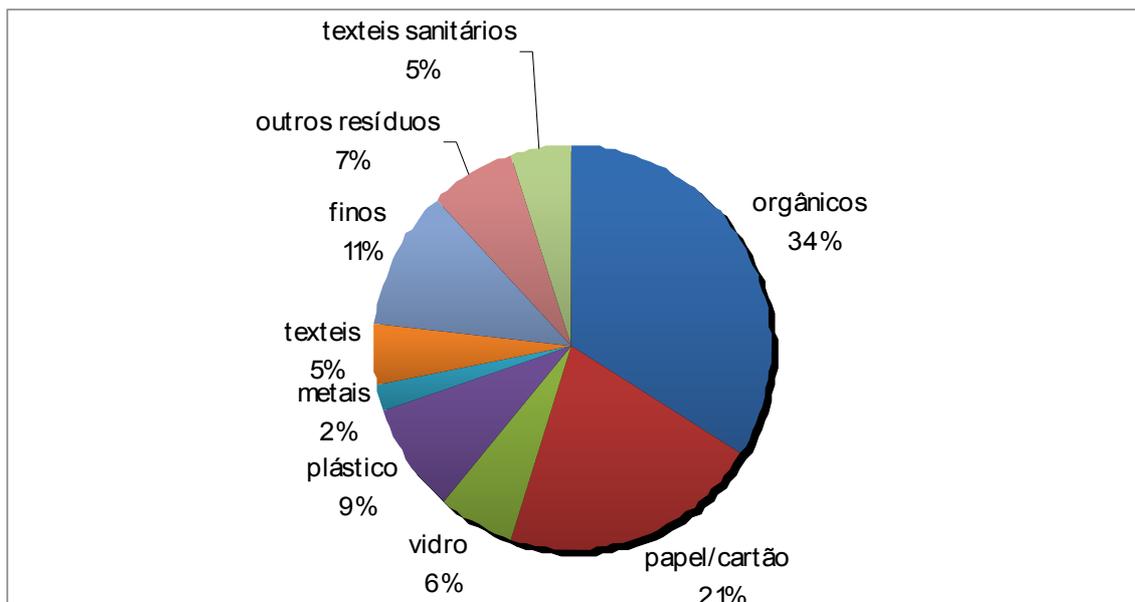


Figura 2.3. Composição física dos resíduos urbanos (Área Metropolitana de Lisboa, Norte) (Fonte: Valorsul, 2007)

2.1.4. Destino final dos resíduos urbanos – aterros sanitários

O aterro sanitário constitui uma das formas mais utilizadas para a deposição controlada dos RU, sendo considerada uma obra de engenharia multidisciplinar que tem de ser concebida, projectada e ponderada sobre todos os factores que condicionam o seu dimensionamento,

procurando garantir o equilíbrio dos compromissos de índole técnica, estrutural, ambiental, económico, funcional, sanitário e social (Levy J. e Cabeças A. J., 2006).

A gestão dos resíduos urbanos, em 1995, por falta de recursos técnicos e financeiros, em Portugal, resumia-se fundamentalmente à sua recolha e eliminação não controlada, existindo nessa altura 341 lixeiras, 5 unidades de valorização orgânica e 13 aterros sanitários. Apenas 26%, aproximadamente, dos resíduos produzidos teriam destino considerado aceitável (MAOTDR, 2007). Esta situação evoluiu significativamente e, em 2006, o cenário em Portugal era já bem diferente, dispondo o Continente de 34 aterros sanitários, 8 unidades de valorização orgânica (das quais 2 destinadas a resíduos verdes) e 2 unidades de incineração.

De referir que os modernos conceitos de gestão de RU preconizam soluções integradas de valorização, tratamento, e confinamento técnico, sempre com vista à minimização da deposição de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro (Tchobanoglous e Kreith, 2002; Bilitewski *et al.* 1997), com efeitos, naturalmente, na diminuição da produção do biogás.

Refira-se também, a este propósito, a obrigatoriedade de reduzir os resíduos urbanos biodegradáveis (resíduos alimentares e de jardim, papel, cartão) destinados a aterro, tendo sido fixados (Artigo 8.º do Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto, que transpõe para o ordenamento jurídico nacional a Directiva “Aterros” 1999/31/CE de 26 de Abril), os seguintes objectivos:

- a) Até Julho de 2013 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 50 % da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995;
- b) Até Julho de 2020 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35%, da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

Ainda assim, qualquer que sejam as alternativas de tratamento e valorização de resíduos, a deposição de RU em aterro sanitário será sempre, e é hoje, uma prática essencial num sistema de gestão integrada de resíduos ou como destino final dos refugos produzidos nos processos de tratamento (e.g. compostagem, incineração, digestão anaeróbia da fracção orgânica dos RU), ou mesmo como opção única de tratamento (Levy J. e Cabeças A. J., 2006).

Segundo Martinho, M. G. e Gonçalves, M. (2000), o aterro sanitário também pode ser considerado um processo de valorização se o biogás for recolhido e aproveitado para fins energéticos (produção de calor ou energia) e/ou quando contribuiu para a recuperação de áreas degradadas, por exemplo, antigas pedreiras ou explorações mineiras.

A concepção e construção de um aterro sanitário obedece a normas técnicas muito exigentes, designadamente a nível do controlo da produção do biogás, da protecção das águas subterrâneas e de superfície, dos efluentes residuais líquidos – águas lixiviantes – controlo de deposição dos resíduos e exploração do aterro e monitorização global do aterro e zonas envolventes.

Na Figura 2.4., apresenta-se a anatomia de um aterro sanitário, onde se encontram representados os vários elementos construtivos e fases de operação, selagem e pós-encerramento:

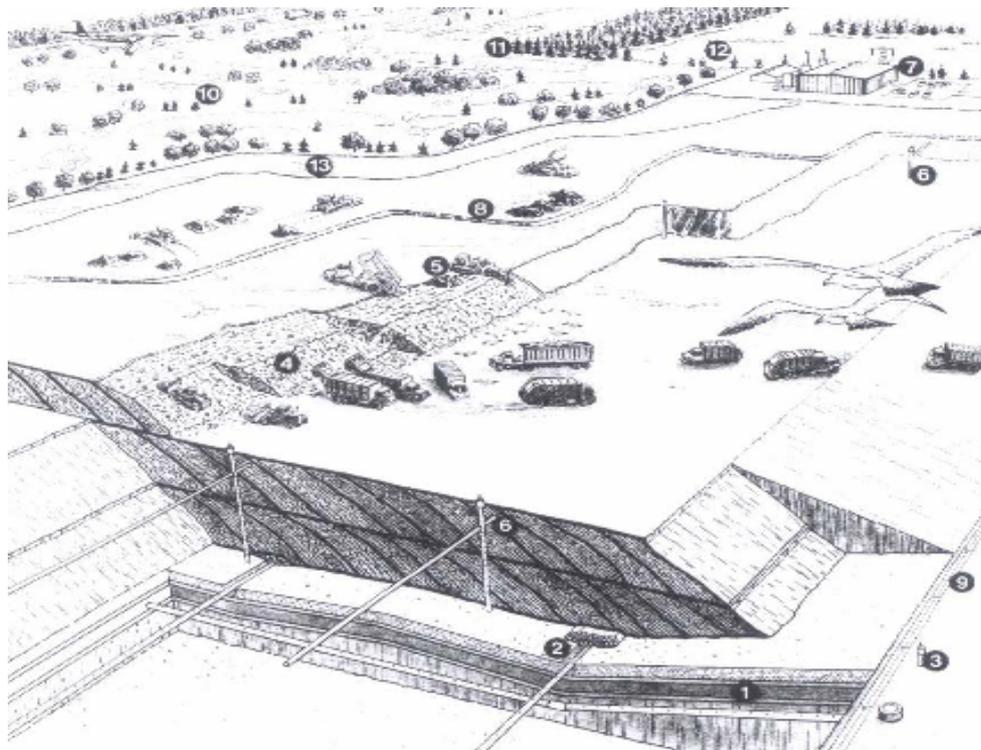


Figura 2.4. Anatomia de um aterro sanitário (Fonte: Rathje, W.L.1991)

1. Sistema de impermeabilização;
2. Sistema de recolha de lixiviados;

3. Monitorização das águas subterrâneas;
4. Descarga de resíduos;
5. Cobertura diária;
6. Sistema de recolha de biogás;
7. Unidade de valorização do biogás em energia eléctrica;
8. Cobertura final;
9. Valetas para recolha de águas pluviais;
10. Utilizações finais que podem ser implementadas após o encerramento do AS (10 b. campo de golfe, 11.aeroporto, 12. refugio de vida selvagem).

Actualmente existe uma consciência crescente, entre decisores políticos e cientistas, da relação entre as políticas de gestão de resíduos e de controlo das alterações climáticas. O metano é um dos seis gases com provado efeito de estufa, abrangidos pelo Protocolo de Quioto, especialmente relacionado com operações de aterro de resíduos biodegradáveis, entre outras actividades pecuárias. De acordo com a European Environment Agency (EEA, 2008), em 2005, as emissões de GEE relativas à gestão de resíduos representavam cerca de 2 % do total das emissões da UE. A Directiva “Aterros” pode por isso auxiliar a alcançar as metas europeias na redução das emissões de GEE, por exemplo pela recuperação de metano para produção de energia eléctrica e por desvio do aterro dos resíduos urbanos biodegradáveis

2.2. BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO DE RESÍDUOS URBANOS

2.2.1. História do biogás

Segundo Thomas H. Christensen (1996), a descoberta do biogás, também denominado gás dos pântanos, foi atribuída a Shirley em 1667. Em 1776 Alessandro Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos. No século XIX o aluno de Louis Pasteur Ulysse Grayon realizou a fermentação anaeróbia (decomposição sem presença de oxigénio) de uma mistura de estrume e água, a 35°C, obtendo então 100 litros de gás/m³ de matéria. No ano de 1884, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, Louis Pasteur considerou que a fermentação podia construir uma fonte de aquecimento e iluminação, o que veio a comprovar-se uns anos mais tarde.

Entretanto, a utilização do biogás sofreu diversas aplicações, mas só nos finais dos anos 60, nos Estados Unidos da América, é que o aproveitamento energético do biogás de aterro teve um significativo desenvolvimento, coincidindo com a construção em grande escala dos aterros sanitários para deposição dos RU que eram produzidos nas grandes cidades. A primeira unidade de tratamento instalada na Europa foi em 1978, na Alemanha, que aproveitou a experiência e o desenvolvimento tecnológico que entretanto os USA tinham realizado nesta área (Thomas H. Christensen, 1996).

No Quadro 2.1. apresenta-se o número de unidades instaladas na Europa e nos Estados Unidos, no ano de 1990, e a correspondente produção de energia eléctrica.

Quadro 2.1. Produção de energia a partir do biogás gerado nos aterros sanitários, na Europa e nos USA (1990)

País	Número Unidades	Produção Energética		
		1000 m ³ CH ₄ / ano	tep/ano	GWh/ano
USA	79	843.570	746.512	8.419
Alemanha	80	149.298	132.000	1.490
UK	27	126.653	112.000	1.264
Holanda	10	19.539	17.250	195
Canada	9	6.520	5.763	65
Suécia	8	12.040	10.640	120
Itália	7	11.322	10.000	113
Dinamarca	5	4.108	3.640	41
França	5	4.709	4.150	47
*Outros	8	6.000	10.000	100
Total	238	1.183.759	1.051.955	11.854

(Fonte : T.H. Christensen ; R. Cossu, 1996)

TEP = tonelada equivalente de petróleo

1GWh = 86 TEP

Segundo Willumsen, H.C. (2001), nos finais dos anos do século passado já tinham sido construídas 955 unidades de aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários, entre as quais Estados Unidos (325); Alemanha (150); Inglaterra (135); Suécia (70); Canadá (25); Áustria (15); Espanha (10).

Em Portugal, os primeiros centros electroprodutores de valorização de biogás de aterro foram instalados em 2004, existindo àquela data 3 unidades de valorização, com uma potência

instalada de 3,55 MWh. Até 2008 verificou-se um aumento de potência instalada, em resultado do arranque de novos centros electroprodutores (6) e da aquisição e instalação de novos motores de combustão, correspondendo a uma produção de cerca 50.000 MWh (4.240 TEP – toneladas equivalentes de petróleo, e por consequência pela não importação de 29.500 BEP – barris equivalentes de petróleo e pela prevenção da emissão de 38.000 toneladas de CO_2 equivalente, em resultado da produção de energia eléctrica a partir de combustíveis fósseis (Levy J. e Cabeças, A.J., 2006).

Em 2009 foram instaladas mais 6 unidades prevendo-se que até finais de 2010 entre em funcionamento a unidade, objecto de análise deste trabalho, no aterro sanitário de Mato da Cruz, localizada no Concelho de Vila Franca de Xira.

2.2.2. Formação e características do biogás

Uma das questões inerentes à deposição dos RU é a produção e migração de biogás para a atmosfera. Após a deposição em aterro sanitário, os resíduos sólidos urbanos que contém uma parcela significativa de matéria orgânica biodegradável (restos de comida, papel, resíduos de jardim) passam por processos biológicos, físicos e químicos, de digestão anaeróbia (na ausência de oxigénio). Esta ocorre pela acção de microrganismos que transformam assim a matéria orgânica no biogás, que é constituído essencialmente por dois componentes, metano (CH_4 – 50 a 60%) e dióxido de carbono (CO_2 – 40 a 60%) contendo ainda vestígios de outros gases em quantidades residuais, sendo estes os responsáveis pelos odores desagradáveis quando não há captação e eliminação do biogás (Levy J. e Cabeças, A.J., 2006).

O metano é um gás inflamável, incolor e com peso volúmico de 0.72 g/l, aproximadamente metade do peso volúmico do ar atmosférico, continuando a ser emitido após a cobertura e encerramento do aterro. A perigosidade do biogás de aterro advém, fundamentalmente, do metano, por este formar uma mistura explosiva com o ar. O poder calorífico do biogás varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³, dependendo da quantidade de metano presente na mistura.

Um dos importantes factores pelos quais se faz a recuperação do biogás, para além da sua valorização energética, tem a ver com o facto dos seus principais componentes (o metano e o dióxido de carbono) contribuírem para o efeito de estufa. No Quadro 2.2. apresenta-se a composição típica do biogás.

Quadro 2.2. Principais componentes do biogás			
Composição do biogás	Símbolo Químico	Intervalo	Média
Metano (combustível)	CH ₄	45-60%	48%
Dióxido de Carbono	CO ₂	40-60%	40%
Azoto	N ₂	2-15%	10%
Hidrogénio (combustível)	H ₂	0-1,2%	1%
Oxigénio	O ₂	0,1-1,0%	0,5%

(Fonte: Levy J. e Cabeças, A.J., 2006).

2.2.3. Factores que influenciam a produção do biogás

Segundo Christensen, Kjeldsen, Lindhardt (1996), os factores que influenciam a produção de biogás estão fundamentalmente relacionadas com as condições climáticas do local, principalmente a humidade, proveniente da pluviosidade, limitativa no processo de degradação dos RU e ainda com factores intrínsecos aos resíduos, descritos resumidamente a seguir:

a) Composição do resíduo – quanto maior a percentagem de material orgânico no resíduo, maior será o potencial de produção de biogás no aterro. Resíduos de alimentos são exemplos de matéria orgânica facilmente decomposta, o que acelera a taxa de produção do gás. Materiais que se decompõem lentamente, como é o caso de grandes pedaços de madeira, não contribuem significativamente para a produção de gás.

b) Humidade – a humidade dos resíduos é o factor determinante no processo de degradação e, por esse facto, da produção do biogás. De acordo com Barlaz, M.A. (1997), há teores de humidade abaixo dos quais as populações microbianas não podem desenvolver-se correctamente e, como consequência, qualquer produção gasosa torna-se então quase inexistente. Esse limite mínimo encontra-se entre 10 e 20% em relação à massa total húmida. Acima desta humidade mínima, a produção de biogás não cessa de aumentar com o teor de água nos resíduos.

Por outro lado, uma elevada humidade, próxima da saturação, revelar-se-ia inibidora para as reacções de degradação, em parte devido à grande diluição das bactérias no meio aquoso, o

que tornaria menos eficazes as suas acções sobre o substrato sólido diminuindo conseqüentemente a produção gasosa (Russo, M., 2005).

c) Tamanho das partículas – quanto menor a unidade da partícula, maior será a área da superfície específica e, portanto, a decomposição será mais rápida se comparada a uma partícula de menor área, originando uma maior produção de gases (Russo, M., 2005). Por exemplo, a decomposição de um tronco de madeira será mais rápida se este for cortado em pedaços menores ao invés de ser disposto inteiro.

Rovers *e al.* (1977); Bingemer e Crutzen (1987) afirmam que restos de alimentos e resíduos de jardim levam de 1 a 5 anos para se decompor, o papel cerca de 5 a 20 anos, a madeira de 20 a 100 anos, enquanto os plásticos, a borracha e o vidro são considerados não biodegradáveis.

d) Idade do resíduo – a produção do biogás num aterro possui duas variáveis dependentes do tempo: tempo de atraso (período que vai da deposição do resíduo até o início da produção do metano) e tempo de conversão (período que vai da deposição do resíduo até o término da produção do metano (Tchobanoglous *e al.*, 1993).

e) pH – segundo Tchobanoglous *e al.*, (1993), o pH óptimo é normalmente bem definido para cada espécie sendo que diferentes espécies toleram diferentes valores de pH. Porém, para crescer bem num meio ácido ou básico, um microrganismo deve ser capaz de manter o seu pH intracelular em torno de 7,5, independentemente do valor do pH do meio externo.

Para contornar esse problema de grande variação de pH do meio, a célula microbiana possui a propriedade de ceder ou absorver íões de hidrogénio com o meio externo, de tal modo que este é alterado para valores dentro do seu intervalo de tolerância, evitando assim a sua morte (Russo, M., 2005).

f) Temperatura – As condições de temperatura de um aterro influenciam os tipos de bactérias predominantes e o nível de produção de gás. As máximas temperaturas do aterro são frequentemente alcançadas dentro de 45 dias após a deposição dos resíduos, como resultado da actividade aeróbia microbiológica. Elevadas temperaturas de gás dentro de um aterro são o resultado da actividade biológica. As temperaturas típicas do gás produzido em aterro variam, tipicamente, entre 30 a 60° C (Russo, M., 2005).

g) Outros factores – Outros factores que podem influenciar a taxa de produção do biogás são os nutrientes, bactérias, compactação de resíduos, dimensões do aterro (área e profundidade), operação do aterro e processamento de resíduos variáveis.

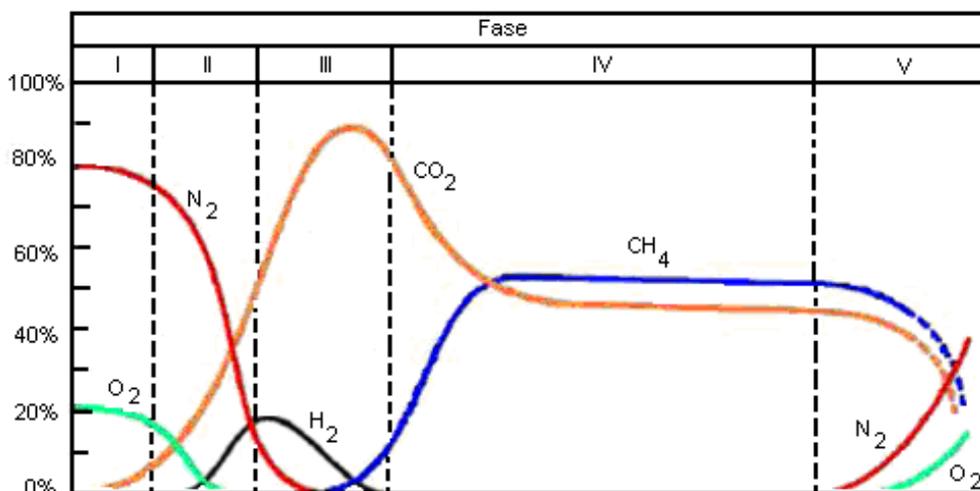
2.2.4. Fases da produção do biogás

De uma forma genérica, o processo de produção de biogás é resultante da fermentação de resíduos orgânicos em aterros processando-se através de um complexo conjunto de fenómenos realizados por microrganismos, que se podem caracterizar em cinco fases mais ou menos bem distintas (Tchobanoglous et al., 1993).

A Figura 2.5. mostra a evolução ao longo do tempo dessas cinco fases de produção do biogás.

Figura 2.5. Fases da produção de biogás em aterros de resíduos urbanos

(% em Volume de gás)



(Fonte: Tchobanoglous *et.al*, 1993)

Fase I: Ajuste inicial (Aeróbia)

Fase em que os resíduos são depositados no aterro e a sua fracção biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias (grande consumo de oxigénio).

A fonte principal de microrganismos aeróbios e anaeróbios, responsável pela decomposição dos resíduos, é o solo empregado na cobertura diária e final. Outras fontes de microrganismos podem ser os resíduos de estações de tratamento de águas residuais (ETAR), depositados em alguns aterros, e a recirculação dos lixiviados. Esta fase, em que a decomposição é aeróbia, estende-se por um período de poucos dias após a execução da camada de cobertura, diminuindo a presença de oxigénio e subindo a temperatura significativamente.

Fase II: Transição (Hidrólise e Fermentação)

Fase em que decrescem os níveis de oxigénio e começa a fase anaeróbia (na ausência de oxigénio). O início das condições anaeróbias pode ser verificado através do potencial de oxidação e redução que possuem os resíduos. Com a queda do potencial de óxido-redução os microrganismos, responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono, iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o *pH* dos lixiviados começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO_2 dentro do aterro.

Fase III: Ácida (Acetogénese)

Fase que antecede a formação de metano, em que as reacções iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de hidrogénio. A acetogénese envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa, em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético (CH_3COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás produzido durante a fase III.

Fase IV: Fase do metano (Metanogénese)

É a fase da fermentação metanogénica, em que um segundo grupo de microrganismos (metanogénicos ou metânicos), estritamente anaeróbios (ausência de oxigénio) convertem o ácido acético e o hidrogénio gasoso, formado na fase ácida, em CH_4 e CO_2 . No interior da massa de resíduos no AS os valores de *pH* tornam-se neutros (entre 6.8 e 8). Por sua vez o *pH* do lixiviado aumenta. Com valores do *pH* elevados poucos constituintes inorgânicos permanecem em solução, resultando em reduzida concentração de metais pesados no lixiviado formado.

Durante esta fase, verifica-se a estabilização das velocidades de produção e da composição do biogás que, segundo Christensen T.H. (1996) varia geralmente entre 50 e 70% de CH_4 e entre 30 e 50% de CO_2 . Outros compostos gasosos podem igualmente aparecer em estado vestigial como o sulfureto de hidrogénio (H_2S). Esta é a fase mais longa, a que se segue o decaimento (Fase V) quando cessam as transformações biológicas no aterro e a sua estabilização.

Fase V: Estabilização/Inertização

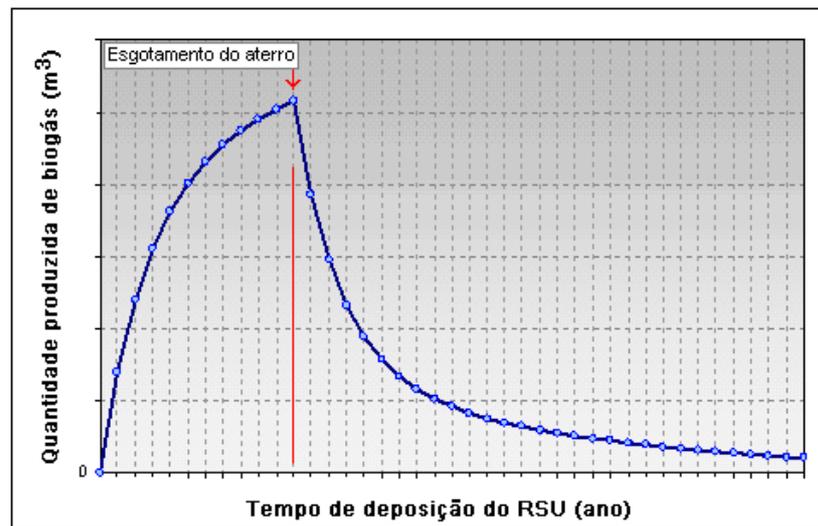
Esta fase ocorre após grande quantidade dos resíduos ter sido biodegradado e convertido em CH_4 e CO_2 durante a fase metanogénica. Como a humidade continua a migrar pela massa dos resíduos, as porções de material biodegradável até então não disponíveis acabam por reagir. A taxa de produção do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das condições de encerramento do aterro, pequenas quantidades de nitrogénio e oxigénio podem ser encontradas no gás do aterro.

A duração de cada fase de produção do biogás varia conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a humidade dos resíduos, a passagem de humidade pelo aterro e o grau de compactação inicial.

Em condições normais, a velocidade de decomposição, medida através da produção de gás, chega a um máximo nos dois primeiros anos e logo decresce lentamente por 25 anos ou mais. Porém, as fases de um aterro não podem ser claramente definidas, já que novos resíduos são dispostos diariamente. Desta forma, enquanto alguns locais com resíduos novos estão passando pela fase aeróbia, outros locais com resíduos mais antigos estão passando por fases anaérobias.

O aproveitamento económico do biogás para a produção de energia eléctrica fica limitado a uma “janela” de tempo relativamente pequena (entre 12 e 18 anos), correspondente ao período de exploração do aterro, seguindo-se a fase referente à selagem final do aterro onde a produção do biogás cai para metade, como pode observar-se na Figura 2.6.

Figura 2.6. Potencial do biogás durante as fases de exploração do aterro



(Fonte: Grontmij Consulting Engineers, Process & Environmental Division, 1999)

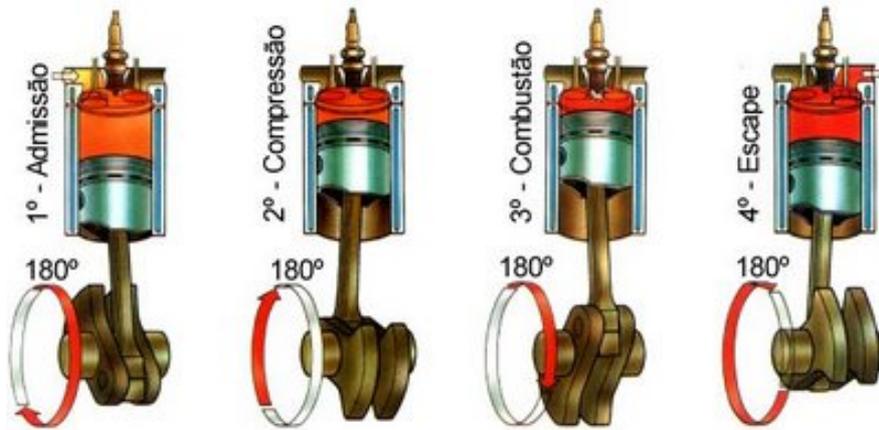
2.2.5. Tecnologias de aproveitamento energético dos resíduos urbanos

De acordo com estudos realizados (USEPA, 2002) as tecnologias convencionais são as mais adequadas para a transformação energética do biogás, designadamente os motores de combustão interna, ciclo Otto. Estes motores aspiram a mistura ar-combustível, neste caso o biogás, antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada por descarga eléctrica, produzida numa vela de ignição.

Os motores de combustão de ciclo Otto além de apresentarem baixo custo quando comparados às turbinas e microturbinas a gás, possuem alta eficiência e desenvolvimento tecnológico quando usam o biogás, como combustível. São indicados para projectos em aterros com potencial acima de 800 KW (USEPA, 2002).

Na Figura 2.7 apresenta-se um desenho esquemático das quatro etapas de funcionamento de um motor de combustão de ciclo Otto.

Figura 2.7. Desenho esquemático das etapas de funcionamento de um motor ciclo Otto



(Fonte: GE Energy, 2000)

As turbinas a gás, Figura 2.8., são usadas em grandes aterros com potencial de 3.000 a 4.000KW no mínimo. As micro turbinas são equipamentos mais recentes e menos empregues nos sistemas de aproveitamento do biogás produzido nos aterros sanitários. Há micro turbinas com potências de 30 a 100 KW. Em grandes projectos onde há biogás que não está a ser aproveitado podem ser instaladas micro turbinas para aproveitamento desse excedente de gás. Por outro lado, são equipamentos que podem ser transferidos para outro local sem grandes dificuldades por serem de pequeno porte.

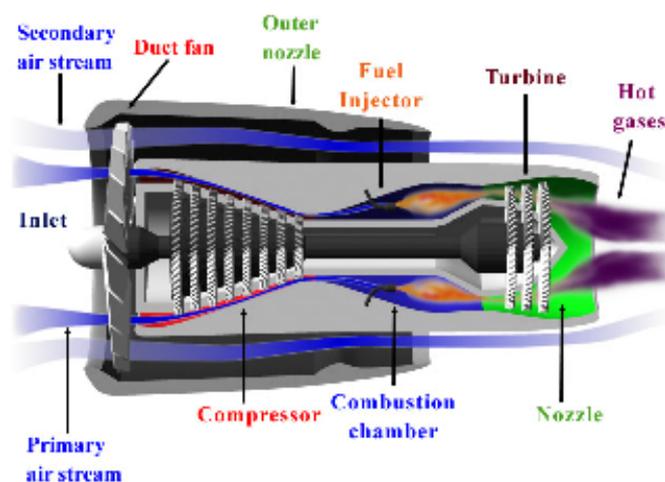


Figura 2.8. Desenho esquemático de uma turbina a gás

2.2.6. Estimativas teóricas da produção de biogás

Para aferir sobre a viabilidade económica do aproveitamento energético do biogás, é necessário obter uma estimativa da quantidade total de gás produzido no aterro, bem como da variação da sua produção ao longo do tempo. Para o efeito existem vários modelos que podem ser seleccionados consoante os dados disponíveis. Devido ao grande número de factores que afectam a produção do biogás, os resultados dos modelos existentes podem apresentar alguns erros face à realidade (Cabeças A. J., 2008).

Um modelo universalmente utilizado é o “Landfill Gás Emissions Model” (LandGEM) desenvolvido pelo Control Technology Center da United States Environment Protection Agency (USEPA), que é baseado numa cinética química de primeira ordem de produção de metano.

Este modelo assume que a produção de biogás é mais intensa no período imediatamente após a deposição dos resíduos em aterro, ocorrendo posteriormente um decréscimo potencial de produção, decaimento de 1ª ordem, à medida que a disponibilidade de carbono orgânico degradável vai diminuindo. A equação do modelo e as suas variáveis são enunciadas seguidamente:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (\text{Formula 1})$$

Onde,

Q_{CH_4} = produção anual de metano no ano do cálculo (m³/ano)

i = 1 (incrementos de tempo de 1 ano)

n = ano inicial da deposição de resíduos

j = incremento de tempo de 0,1 anos

Lo = potencial de produção do metano (m³/Mg)

k = taxa de produção do metano (ano⁻¹)

Mi = Massa de resíduos confinados no ano i (Mg)

O potencial de produção de metano, $L_0 = 100 \text{ m}^3/\text{Mg}$, (produção média observada em aterros portugueses e europeus) representa a capacidade dos resíduos gerarem metano ao longo da sua degradação e é dependente da matéria orgânica contida nos resíduos. O coeficiente de produção de metano, $k = 0,04 \text{ ano}^{-1}$, traduz a rapidez com que o metano será produzido e é função das condições no aterro, da humidade, da disponibilidade de nutrientes, do *pH* e da temperatura.

2.2.7. Benefícios do aproveitamento do biogás de aterro sanitários de resíduos urbanos

O investimento no aproveitamento do biogás, tem duas vantagens. Primeiro, diminui as emissões de gases com efeito de estufa, porque o metano constituinte do biogás é destruído através da sua combustão nos grupos moto geradores. Estima-se que uma tonelada de metano (CH_4), emitida para a atmosfera, pode ter um efeito de aquecimento global equivalente a 21 toneladas de dióxido de carbono (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, J.T. Houghton, Callander, 2000). Em segundo lugar, o biogás de aterro constitui um recurso energético passível de ser aproveitado, como combustível, em grupos moto geradores, para produzir electricidade ou para produzir energia térmica, de origem renovável.

De referir que, em Portugal, a produção de energia eléctrica a partir do biogás de aterro passou de 67 GWh em 2008 para 80 GWh em 2009, correspondendo a um crescimento de 19,4%. Este aumento de produção de energia deveu-se à entrada em funcionamento de três novas centrais electroprodutoras de biogás (DGGE, 2010).

No Quadro 2.3., da página seguinte, apresenta-se a evolução da energia produzida, em Portugal, a partir de fontes renováveis, onde se inclui a energia eléctrica gerada através do aproveitamento e valorização do biogás que, apesar de representar pouco no cômputo geral da energia produzida, regista no entanto um crescimento sustentado desde 2005.

Quadro 2.3. Evolução da energia produzida a partir de fontes renováveis (GWh)

	2005	2006	2007	2008	2009
Hídrica	5.000	11.323	10.351	7.102	8.717
Eólica	1.741	2.892	4.007	5.720	7.440
Biomassa (c/ cogeração)	1.286	1.302	1.361	1.381	1.390
Biomassa (s/ cogeração)	64	78	149	146	311
Resíduos Sólidos Urbanos	545	532	498	441	458
Biogás	31	33	55	67	80
Fotovoltaica	0,0	0,0	23,6	41,4	159,9
Total	8.667	16.160	16.445	14.898	18.556
Produção Bruta + Saldo Imp. (GWh)	51.729	52.749	52.952	53.558	52.808
% de renováveis	16,8%	30,6%	31,1%	27,8%	35,1%

(Fonte : DGGE, 2010)

De referir que, uma vez que os RU constituem uma fonte energética endógena e renovável, o Governo incluiu no Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAEE, 2008) os resíduos urbanos como uma fonte energética que importa valorizar, designadamente no que se refere ao biogás produzido nos aterros sanitários.

É pois neste contexto que apresentamos, no próximo capítulo, como caso de estudo, o investimento num projecto de valorização energética do biogás produzido no aterro sanitário de Mato da Cruz.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DO ATERRO SANITÁRIO DE MATO DA CRUZ

O Aterro Sanitário de Mato da Cruz, é a infra-estrutura onde são recebidos os resíduos produzidos nos municípios de Lisboa, Loures, Amadora, Odivelas e Vila Franca de Xira. O Aterro fica localizado no Concelho de Vila Franca de Xira, a cerca de 20 km da cidade de Lisboa, servindo uma população de cerca 1 150 000 habitantes.

O Aterro Sanitário entrou em funcionamento em Julho de 1998, mas já contemplava uma célula (espaço onde os de RU são depositados e compactados), selada em 1998, com 804.526 toneladas de resíduos depositados.

A exploração e gestão do AS de Mato da Cruz é da responsabilidade da empresa Valorsul S.A., constituída por capitais exclusivamente públicos, considerada a maior empresa portuguesa de tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos, tratando e valorizando mais de um sexto de todo o lixo doméstico produzido em Portugal (cerca de 1.000.000 toneladas/ano), produzidos em 19 Municípios da Grande Lisboa e da Região Oeste: Alcobaça, Alenquer, Amadora, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lisboa, Loures, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço e Torres Vedras e Vila Franca de Xira.

3.1.1. Características principais do AS de Mato da Cruz

Áreas ocupadas: Total 41ha

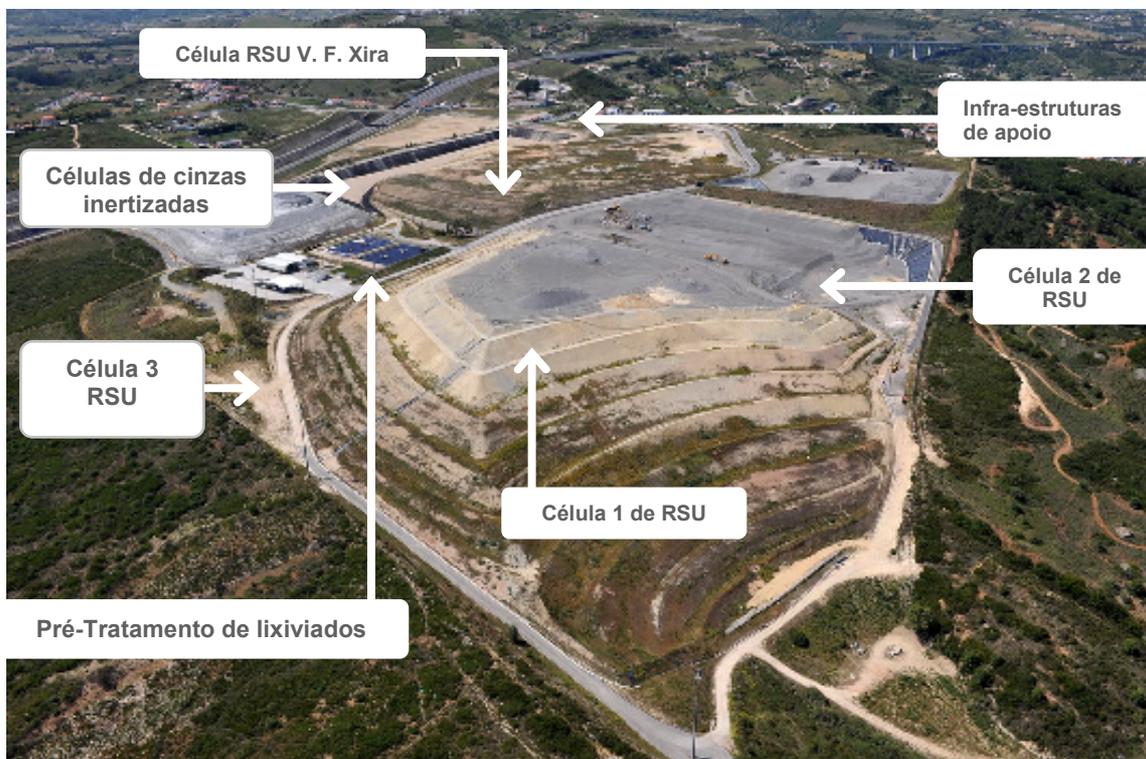
- Célula de RU de Vila Franca de Xira - 7,1 ha (selada no ano de 2000);
- Células 1 e 2 de RU - 13,7 ha, com capacidade de 3.550.000 m³;
- Célula 3 de RU – 2,4 ha, com capacidade de 620.000 m³ (em construção);
- Célula 1 e 2 de Cinzas Inertizadas - 4.8 ha, com capacidade de 602.800 m³;
- Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias – 2,5 ha.

De sublinhar também que o aterro está dotado das seguintes instalações de apoio:

- Portaria;

- Balcão de Pesagem;
- Lavagem de rodados, oficina e armazéns;
- Escritórios e banheiros;
- Central de incêndio;
- Posto de transformação.

Figura 3.1. Vista aérea do aterro sanitário de Mato da Cruz com a indicação das áreas ocupadas pelas células de RU e de cinzas inertizadas



No interior do perímetro do AS existem diversas células para deposição de resíduos sólidos urbanos e cinzas inertizadas (Figura 3.1.), impermeabilizadas para impedir que os líquidos libertados pelo lixo – os lixiviados – se infiltrem e poluam o subsolo, e uma rede de captação e valorização energética do biogás. Os resíduos são depositados, arrumados, compactados e cobertos diariamente de forma controlada evitando problemas de saúde pública e reduzindo o impacto ambiental.

3.1.2. Construção e impermeabilização das células de resíduos urbanos

A impermeabilização do fundo da zona de deposição dos resíduos tem como objectivo evitar a possibilidade de qualquer contaminação, quer dos solos envolventes, quer de aquíferos existentes nas suas proximidades.

Assim, na base do aterro (Figura 3.2.), de baixo para cima, tem-se: uma camada de solos compactados numa espessura de 0,5 m; tela bentonítica, composta por geotêxtil (material impermeabilizante) entre os quais se encontra uma camada de bentonite, com espessura de 7 mm; geomembrana, (membranas sintéticas ou barreiras de baixíssima permeabilidade) com 2 mm de espessura, e uma camada drenante com 0,5 m de espessura. Nos taludes é aplicado igualmente um geotêxtil e uma geomembrana.

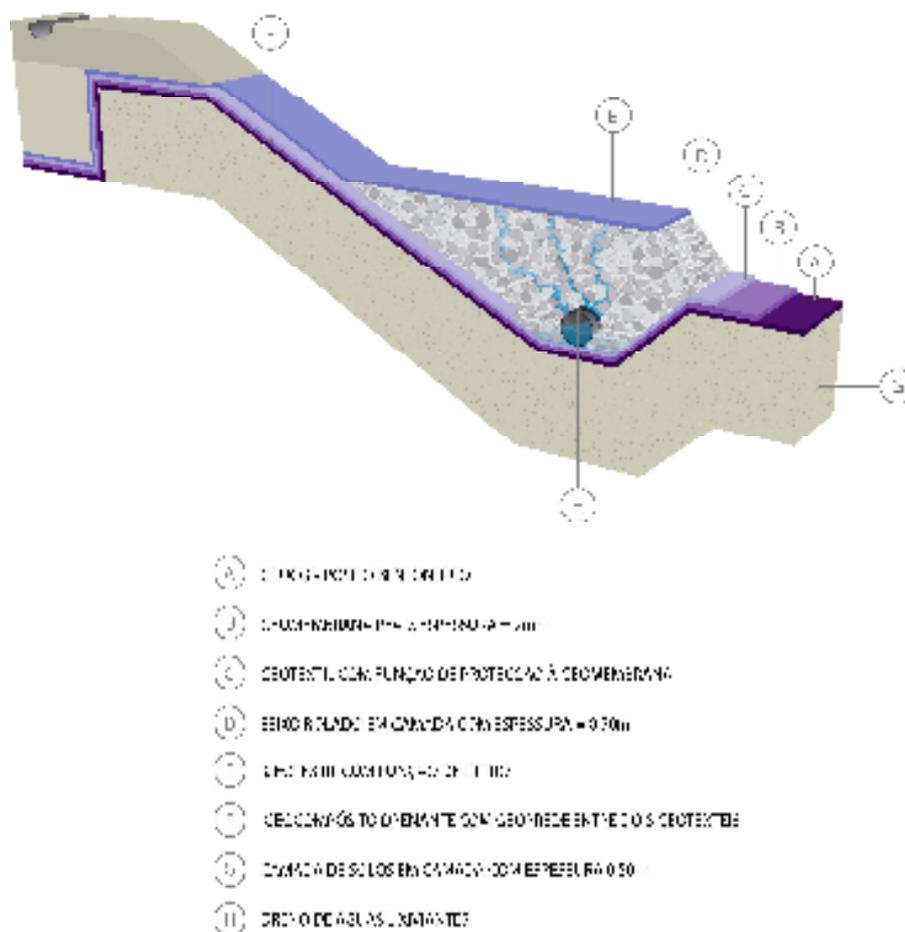


Figura 3.2. Pormenor do sistema de impermeabilização e drenagem de uma célula de RU

A drenagem dos lixiviados, água contida nos resíduos produzidos nas células do aterro é efectuada através de redes de drenos que os conduzem por gravidade para um depósito exterior ao aterro e deste para um poço de bombagem, a partir do qual serão enviados para as Lagoas da Estação de Tratamento de Lixiviados (Figura 3.3.), onde são submetidos a um tratamento biológico e físico-químico.



Figura 3.3. Lagoas da Estação de Tratamento dos Lixiviados

(Fonte: Valorsul, 2010)

3.1.3. Resíduos depositados

O aterro sanitário começou a receber resíduos urbanos a partir de 1997, no antigo aterro sanitário de Vila Franca de Xira, actualmente integrado no aterro de Mato da Cruz, verificando-se que desde essa data até aos finais de 1999 o total de resíduos acumulados se cifrava num total de 1.302.762 toneladas. A partir do ano 2000 essas quantidades registaram uma diminuição significativa em virtude da entrada em funcionamento da Central de Tratamento de Resíduos Urbanos (CTRSU), onde é realizada a queima dos resíduos que não são separados e, simultaneamente, se produz energia eléctrica.

O aterro sanitário, a partir de 2000, passou apenas a receber os resíduos que não são valorizáveis ou nas situações em que a CTRSU se encontra em manutenção. Actualmente recebe cerca de 200.000 toneladas anuais.

Prevê-se que a vida útil do actual aterro seja atingida no ano de 2014. Entretanto decorrem negociações com uma entidade privada no sentido de se aumentar a área de deposição para terrenos contíguos ao actual aterro sanitário

As quantidades de resíduos urbanos biodegradáveis depositados no aterro, incluindo os resíduos depositados no antigo aterro de Vila Franca de Xira, selado no ano de 2000, apresentam-se no Quadro 3.1. seguinte.

Quadro 3.1 Resíduos urbanos biodegradáveis depositados anualmente (toneladas)		
Ano	Resíduos depositados	Total de Resíduos acumulado
1997	279.023	279.023
1998	594.221	873.244
1999	429.518	1.302.762
2000	12.062	1.314.824
2001	25.226	1.340.050
2002	24.073	1.364.123
2003	53.408	1.417.531
2004	104.033	1.521.564
2005	41.808	1.563.372
2006	64.515	1.627.887
2007	102.400	1.730.287
2008	25.681	1.755.968
2009	25.681	1.781.649
2010	25.681	1.807.330
2011	25.681	1.833.011
2012	25.681	1.858.692
2013	25.681	1.884.373
2014	25.681	1.910.054

Estimativas italico

(Fonte : Valorsul, 2007)

3.1.4. Composição dos resíduos depositados

As estimativas de quantidades totais de resíduos depositados no aterro sanitário com a respectiva composição para efeitos de cálculo do coeficiente de produção de biogás, Lo , são apresentadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Quantidade de resíduos urbanos depositados e respectiva composição

Componentes	Antigo Aterro Sanitário de Vila Franca de Xira		Célula 1		Célula 2		Célula 3 (Previsão)	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Papel Cartão	249.403	31	215.438	28	52.713	24	39.806	31
Jardins	10.298	2	70.792	9	28.326	13	1.644	1
Putrescíveis	321.810	40	279.973	37	90.103	41	51.362	40
Madeiras	24.136	3	20.742	3	5.101	3	3.852	3
Indiferenciados (1)	198.878	24	171.901	23	42.034	19	31.741	25
Total	804.525	100	758.846	100	218.277	100	128.405	100

(1) Vidro, Metal, Plástico, Terras

3.1.5. Sistema de drenagem e queima do biogás

A captação do biogás produzido no aterro é efectuada através de furos verticais na massa de resíduos, desde a base da célula, os quais são executados gradualmente, durante a exploração, com recurso a cabeçais (Figura 3.4.). Os furos são entubados por condutas verticais perfuradas. Os espaços envolventes destes tubos são preenchidos com brita de granulometria grossa, protegida por geogrelha até às camadas de selagem, de molde a possibilitar a captação do biogás.

A rede de biogás, da célula pertencente ao antigo aterro sanitário de Mato da Cruz é constituída por um colector central (Figura 3.5.) onde são ligados os cabeçais instalados nos poços através de uma rede de drenagem horizontal que percorre a superfície do aterro. O sistema de captação e queima do biogás do aterro sanitário é composto por mais duas redes independentes que percorrem o aterro, uma em cada célula de resíduos.

A extracção do biogás pode ser realizada de duas formas: extracção passiva ou activa. A extracção passiva verifica-se quando o biogás flui pela sua própria pressão até ao local de drenagem. A diferença de pressão entre o topo do aterro e a atmosfera é o factor responsável pelo fluxo do biogás. A extracção activa é mais eficiente na redução das emissões livres do

aterro. Neste sistema, utilizado no aterro sanitário de Mato da Cruz, os colectores de drenagem do biogás estão ligados a um ventilador ou compressor que, mantendo um diferencial de pressão adequado ao longo da tubagem, garante o seu fluxo até ao queimador, onde é eliminado por combustão ou, a partir de Janeiro de 2011, para o sistema de valorização energética.



Figura 3.4. Cabeçais instalados nos poços de captação do biogás



Figura 3.5. Colector central de ligação dos poços de biogás do antigo AS de Vila Franca de Xira

(Fonte: Valorsul, 2010)

Actualmente a rede de drenagem de biogás do aterro é composta por 57 poços, unidos a um colector central, o qual se encontra ligado conforme referido anteriormente a um queimador do biogás (Figura 3.6.).



Figura 3.6. Queimador de biogás (Fonte: Valorsul, 2010)

Este equipamento é necessário para a queima do biogás, sempre que não exista o seu aproveitamento para produção de energia eléctrica ou quando a Unidade de Valorização Energética do biogás (UVE) se encontra avariada ou em manutenção.

O biogás produzido no aterro sanitário é controlado, em cada poço, por medição das características quantitativas dos constituintes principais, ou seja, CH_4 , O_2 e CO_2 , (Figura 3.7.), de modo a permitir que, para cada poço, a entrada de metano seja adequada à queima, evitando a extracção de oxigénio do ar através da sub pressão instalada na rede. Na tocha são registadas as horas de funcionamento do queimador e os respectivos caudais e a composição percentual dos principais constituintes.

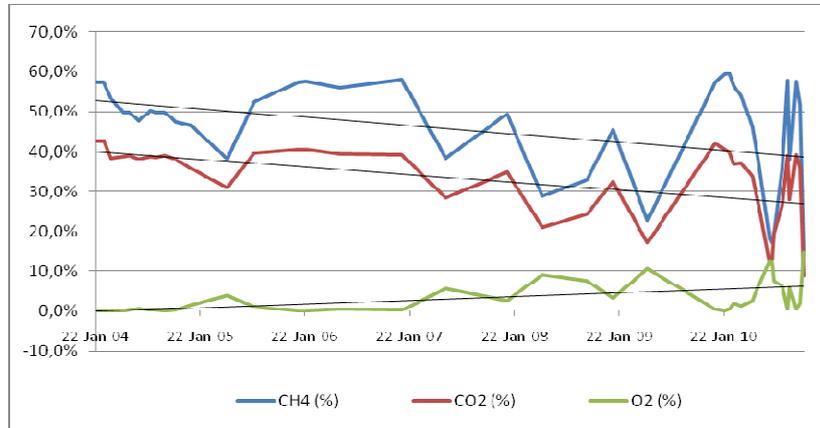


Figura 3.7. Recolha de uma amostra de biogás e análise das características físico químicas (Fonte: Valorsul, 2010)

A evolução dos resultados obtidos no colectador central da célula do antigo aterro de Vila Franca de Xira, em termos de percentagem dos principais componentes do biogás (CH_4 , O_2 e CO_2), cuja monitorização se iniciou em Janeiro de 2004, é apresentada na Figura 3.8.

Os resultados obtidos indicam que o biogás produzido na célula de Vila Franca de Xira é maioritariamente constituído por metano (CH_4) em mais de 50%, característica da fase IV dos aterros (fase metanogénica) começando a decrescer a partir daí para valores na ordem dos 40%, apresentando uma tendência gradualmente decrescente até ao fim do ano de 2010 (Figura 3.8.). O decréscimo era esperado, uma vez que a célula foi selada no ano 2000, deixando a partir dessa data de receber mais resíduos.

Figura 3.8. Composição média mensal do biogás produzido na célula de Vila Franca de Xira de 2004 a Setembro de 2010



O gráfico da Figura 3.9. mostra a evolução mensal da composição do biogás medido no queimador. Os valores de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) apresentam variações acentuadas, inferiores a 40% nalguns casos, que podem estar relacionadas com a presença elevada de oxigénio (O_2) nas condutas de sucção do biogás e também pelo facto de se ter verificado alguma carência de água no aterro, coincidente com a baixa pluviosidade registada durante largos períodos de tempo, reduzindo a humidade necessária à massa de resíduos para desenvolver a actividade microbiana, responsável pela produção do biogás.

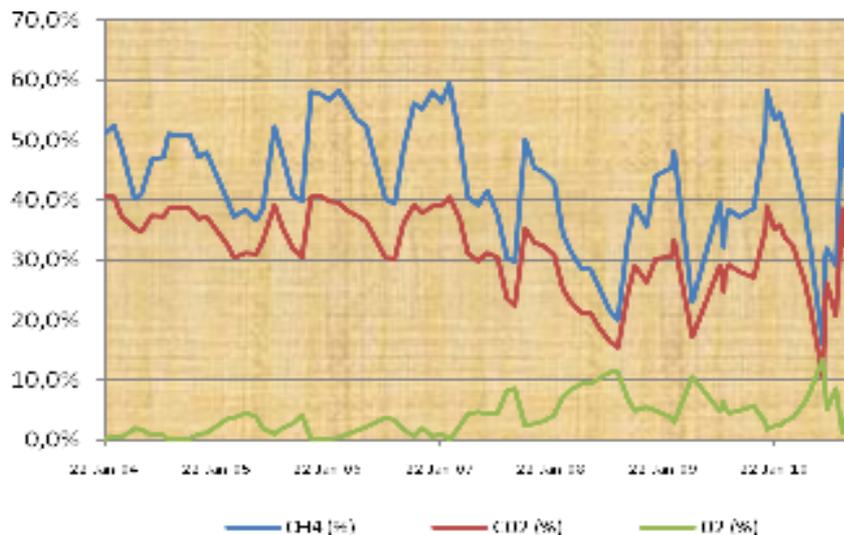


Figura 3.9. Composição média mensal do biogás medido no queimador, no período compreendido entre Janeiro de 2004 e Setembro de 2010

3.2. ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO

Para aferir sobre a viabilidade do aproveitamento energético do biogás é necessário obter uma estimativa da quantidade total de biogás produzido no aterro, tendo como base a deposição real em cada uma das células de resíduos.

O modelo seleccionado para esse efeito foi o –LandGEM – Landfill Gas Emission Model – , apresentado no capítulo 2 da revisão da literatura, cujo cálculo determina que a produção de metano por resíduos depositados em aterro é considerada função de duas variáveis, a quantidade de resíduos e o tempo decorrido desde a sua deposição no aterro.

Portanto, o potencial de produção de metano, L_0 , foi calculado para cada ano de exploração do aterro, tendo como base a composição dos RU depositados (Quadro 3.2.), aplicando-se a seguinte fórmula:

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOCf \times F \times (16/12) \quad (\text{Formula 2})$$

Onde

- MCF – Factor de correcção de metano para aterro. Para o caso em estudo, o factor toma o valor 1.
- DOCf – Fração de carbono degradável. Considerou-se um valor de 0,6.
- F - Fração de metano no gás de aterro. Considerou-se um teor médio de 50% de metano no biogás.
- O termo DOC corresponde à fracção de carbono dos resíduos depositados, e pode obter-se pela seguinte fórmula:
- $DOC = 0,4 \times A + 0,17 \times B + 0,15 \times C + 0,3 \times D$

Onde:

- A – Fração de RU que são papel e têxteis
- B – Fração de RU que são resíduos de jardim
- C – Fração de RU que são putrescíveis
- D – Fração de RU que são madeiras

A produção é estimada para condições de temperatura e pressão normais ($T = 20^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ Atm.}$), embora o biogás seja extraído em condições diferentes.

O valor do potencial de produção de metano foi calculado em função da composição dos resíduos biodegradáveis depositados no aterro, anualmente. Utilizou-se um coeficiente de produção de metano com o valor $k = 0,04 \text{ ano}^{-1}$ que corresponde à produção observada em aterros europeus e portugueses. Estes valores conduziram a estimativas de produção nas células em causa que corresponderam às medições realizadas, sendo função do pH , da temperatura, da existência de nutrientes nos microrganismos e da humidade dos resíduos.

Assumiu-se um teor médio de metano no biogás de 50%, que corresponde ao valor médio verificado nos poços em exploração no aterro sanitário.

Apresenta-se no Quadro 3.3., os resultados da aplicação do modelo de previsão da produção anual de metano, até ao ano de 2020, calculadas a partir do modelo LandGEM, baseado nos pressupostos anteriormente enunciados.

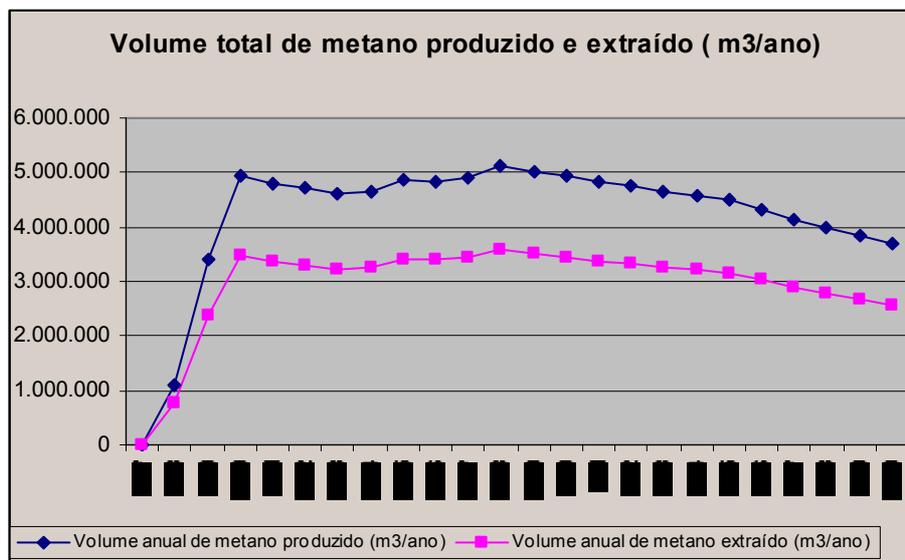
Quadro 3.3. Volume anual de metano produzido e extraído

Ano	Resíduos Recepcionados	Resíduos depositados	Volume anual de biogás produzido	Volume anual de biogás extraído	Volume anual de metano produzido	Volume anual de metano extraído
	(Mg/ano)	(Mg)	(m^3/ano)	(m^3/ano)	(m^3/ano)	(m^3/ano)
1997	279.023	0	0	0	0	0
1998	594.221	279.023	2.192.509	1.534.756	1.096.254	767.378
1999	429.518	873.244	6.775.813	4.743.069	3.387.907	2.371.535
2000	12.062	1.302.762	9.885.199	6.919.639	4.942.600	3.459.820
2001	25.226	1.314.824	9.592.376	6.714.663	4.796.188	3.357.332
2002	24.073	1.340.050	9.414.474	6.590.132	4.707.237	3.295.066
2003	53.408	1.364.123	9.234.489	6.464.142	4.617.244	3.232.071
2004	104.033	1.417.531	9.292.069	6.504.448	4.646.034	3.252.224
2005	41.808	1.521.564	9.745.193	6.821.635	4.872.596	3.410.818
2006	64.515	1.563.372	9.691.598	6.784.118	4.845.799	3.392.059
2007	102.400	1.627.887	9.818.531	6.872.972	4.909.266	3.436.486
2008	25.681	1.730.287	10.238.180	7.166.726	5.119.090	3.583.363
2009	25.681	1.755.968	10.038.532	7.026.972	5.019.266	3.513.486
2010	25.681	1.781.649	9.846.712	6.892.698	4.923.356	3.446.349
2011	25.681	1.807.330	9.662.413	6.763.689	4.831.207	3.381.845
2012	25.681	1.833.011	9.485.341	6.639.739	4.742.670	3.319.869
2013	25.681	1.858.692	9.315.212	6.520.648	4.657.606	3.260.324
2014	25.681	1.884.373	9.151.753	6.406.227	4.575.877	3.203.114
2015	0	1.910.054	8.994.704	6.296.293	4.497.352	3.148.146
2016	0	1.910.054	8.642.017	6.049.412	4.321.008	3.024.706
2017	0	1.910.054	8.303.158	5.812.211	4.151.579	2.906.105
2018	0	1.910.054	7.977.587	5.584.311	3.988.793	2.792.155
2019	0	1.910.054	7.664.781	5.365.347	3.832.391	2.682.673
2020	0	1.910.054	7.364.241	5.154.969	3.682.120	2.577.484

A quantidade de metano gerado anualmente cresce até atingir um valor máximo de produção no ano 2008, 5.019.266 m³, depois decresce em consequência da diminuição das quantidades de resíduos biodegradáveis depositados a partir de 2009 até à data do encerramento do aterro, que se prevê acontecer em 2014.

Na Figura 3.10. apresenta-se o gráfico com a evolução das estimativas anuais respeitantes ao volume de metano produzido e extraído no aterro, de acordo com o modelo proposto. Conforme podemos observar pela análise do gráfico, o processo de produção de biogás e a respectiva evolução ao longo do tempo reflecte as cinco fases de produção, desenvolvidas na revisão da literatura.

Figura 3.10. Evolução do volume anual de metano produzido e extraído



De salientar que a diferença verificada entre a produção e a extracção do volume de metano, se deve ao facto de uma parte do biogás produzido no interior do aterro se libertar através da superfície do aterro, na ordem dos 30% por um lado, por a cobertura do aterro não ser impermeável e por outro por as camadas de selagem apresentarem por vezes fissuras em resultado de compressões e dilatações do material de cobertura. No caso do aterro sanitário de Mato da Cruz foi utilizada argila como material de cobertura. Contudo, a utilização de geomembranas, mais dispendiosas do que a argila, pode aumentar a eficiência da extracção do biogás e de reduzir a produção dos lixiviados.

Neste trabalho, foi considerada uma eficiência de extracção do biogás de 70 %. Este valor é conservador, pois considera-se que a cobertura do aterro é boa, que as camadas de cobertura intermédia obedecem às boas regras construtivas e que o sistema de drenagem do biogás é correctamente operado. Na prática, a eficiência de extracção pode ser maior ou menor que 70%.

Há a referir, no entanto, que os resultados apurados a partir da fórmula de cálculo do modelo utilizado são meramente indicativos e servem apenas para que seja possível tomar decisões quanto à viabilidade económica do projecto. Esses resultados teóricos precisam de ser validados em campo, com medições directas no queimador e nos poços de extracção do biogás.

3.2.1. Energia e potência eléctrica extraída do biogás

As estimativas referentes à energia e potência disponível a partir do biogás extraído do aterro são apresentadas no Quadro 3.4. seguinte.

Quadro 3.4. Energia e potência disponível em função da extracção do biogás				
Ano	Volume anual de biogás extraído m ³ / ano	Caudal médio (m ³ /h)	Energia disponível (MWh/ano)	Potência disponível (KW)
2010	6.892.698	787	32.396	1,56
2011	6.763.689	772	31.789	1,53
2012	6.639.739	758	31.207	1,50
2013	6.520.648	744	30.647	1,48
2014	6.406.227	731	30.109	1,45
2015	6.296.293	719	29.593	1,42
2016	6.049.412	691	28.432	1,37
2017	5.812.211	663	27.317	1,32
2018	5.584.311	637	26.246	1,26
2019	5.365.347	612	25.217	1,21
2020	5.154.969	588	24.228	1,17
Média	5.191.196	593	24.399	1,17

A partir das estimativas é possível dimensionar a potência dos equipamentos a instalar na UVE, designadamente os moto geradores, compressores e queimador.

1. Partiu-se do volume anual de biogás extraído, que foi de 6.892.698 m³ / ano, em 2010;
2. Considerou-se que o poder calorífico inferior do biogás (*PCI*) é de 4.700 Wh/m³;
3. Seguidamente, ao multiplicar-se o volume de biogás extraído, 6.892.698 m³ / ano, pelo poder calorífico, 4.700 Wh/m³, obtêm-se o conteúdo energético do biogás, que é de 32.396 MWh/ano;
4. Finalmente, para calcular a potência dos motogeradores, dividimos o conteúdo energético do biogás extraído, 32.396 MWh/ano por 8100 horas/ano de trabalho dos moto geradores, e seguidamente multiplicamos pela eficiência dos moto geradores (0,39%) e obtemos uma potência de 1.56 MW, que será a potência de referência no dimensionamento da UVE.

3.3. DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

Com base nos dados apurados e apresentados no Quadro 3.4., considerando por outro lado que as potências unitárias disponíveis no mercado de comercialização de moto geradores, para níveis de potência semelhantes à calculada rondam os 835 KW e 625 KW, conclui-se que a opção mais adequada ao projecto é a instalação inicial de 2 grupos motogeradores de Ciclo Otto, de capacidade unitária de 625 KW, perfazendo uma capacidade total instalada de 1.25 MW.

Esta capacidade poderá ser ampliada, através da instalação de um terceiro moto gerador, caso se verifiquem acréscimos de extracção de biogás, face ao que efectivamente foi estimado pelo modelo LandGEM, a confirmar naturalmente por medições directas nos poços de biogás. De referir, novamente, que essas medições têm de ser efectuadas com regularidade para podermos conhecer a evolução do campo de gás no interior do aterro, devido às sucessivas transformações químicas a que está sujeito ao longo do tempo.

Deverá ainda ser instalado um sistema de bombagem do biogás, com a capacidade de extracção máxima de 1000 m³/h. De forma a garantir a flexibilidade de operação, o sistema deverá ser composto por dois compressores, de capacidade unitária igual a 500 m³/h, cujo caudal poderá ser ajustado desde 40% a 100% deste valor. Deste modo, o caudal de cada compressor poderá ser ajustado entre 200 m³/h e 500 m³/h.

3.3.1. Redução de emissões de gás com efeito de estufa (GEE)

Como referido na introdução deste trabalho, os projectos de recuperação de biogás contribuem para reduzir as emissões de GEE de duas formas. Primeiro, o metano constituinte do biogás de aterro é destruído através da sua combustão nos motores geradores. É estimado que uma tonelada de metano emitida para a atmosfera tem um efeito no aquecimento global equivalente a 21 toneladas de dióxido de carbono (Climate Change, 1995: Painel Intergovernamental on Climate Change, J.T. Houghton. Em segundo lugar, uma vez que o biogás de aterro pode ser usado como combustível para produzir electricidade, como se demonstra nesta tese de mestrado, ou para produzir energia térmica, permite substituir o uso de combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo ou gás natural, que também são responsáveis por significativas emissões de dióxido de carbono.

Assim sendo, no âmbito do aproveitamento do biogás do AS de Mato da Cruz, a quantidade estimada de metano, em toneladas, gerada durante o ano de 2011 a 2020 é apresentada na coluna 2 do Quadro 3.5. De referir que as emissões estimadas de metano foram calculadas pela aplicação do modelo LandGEM, cujos cálculos são apresentados no Anexo C, baseados nos pressupostos apresentados no ponto 3.2.

Considerando que uma tonelada de metano tem um efeito no aquecimento global equivalente a 21 toneladas de dióxido de carbono (CO_2), a UVE de Mato da Cruz é responsável, no período compreendido entre 2011 e 2020, pela prevenção da emissão de 726.605 toneladas de CO_2 equivalente (TCO₂E), em resultado da produção de energia eléctrica a partir de combustíveis fósseis (coluna 3 do Quadro 3.5.).

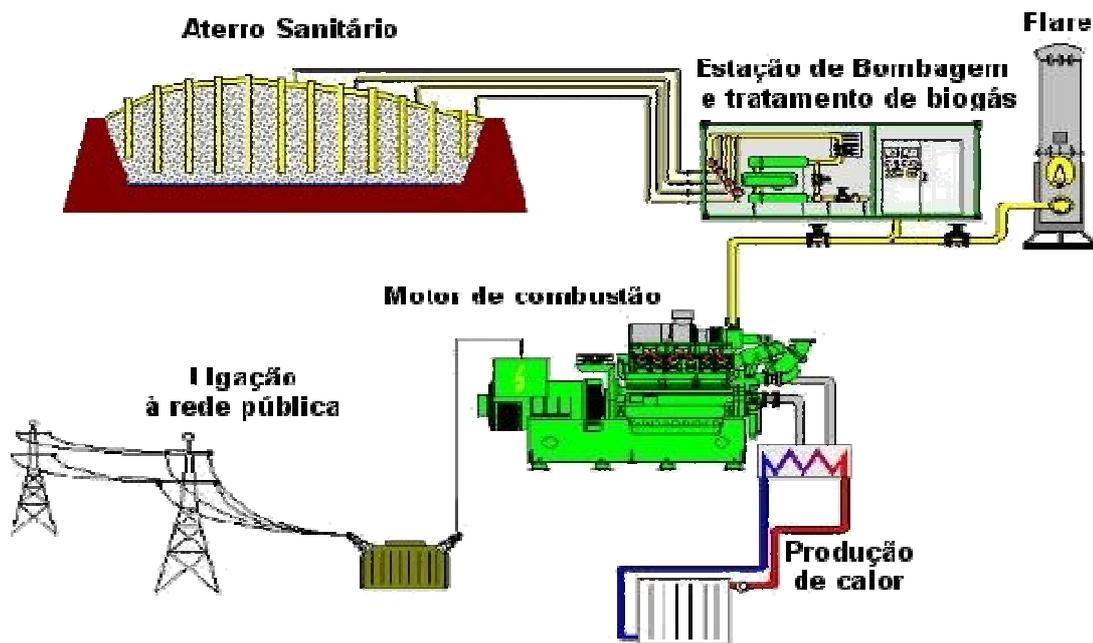
Quadro 3.5. - Estimativa de redução de emissões (TCO ₂ E)		
Ano	Emissão Metano (ton/ano)	TCO ₂ E
2010	2.260	47.460
2011	3.297	69.246
2012	3.200	67.195
2013	3.140	65.949
2014	3.080	64.688
2015	3.100	65.091
2016	3.251	68.266
2017	3.233	67.890
2018	3.275	68.779
2019	3.415	71.719
2020	3.349	70.320
Total	34.600	726.605

Relativamente a outros indicadores de produção, o projecto em estudo será também responsável pela produção de cerca de 8.000 TEP – toneladas equivalentes de petróleo e por consequência pela não importação de 55.600 BEP – barris equivalentes de petróleo (1TEP = 6,95 BEP).

3.3.2. Representação esquemática de uma UVE.

Finalmente, a Figura 3.11. apresenta uma representação esquemática de uma unidade de valorização energética, a partir do aproveitamento do biogás produzido nos aterros sanitários de resíduos urbanos, semelhante à que vamos desenvolver no próximo capítulo, objecto deste trabalho.

Figura 3.11. Representação esquemática de uma unidade de valorização energética do biogás de aterro



(Fonte: Jenbacher, 2006)

4. MEMÓRIA DESCRITIVA DO PROJECTO

O projecto de investimento tem como objectivo o aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário de Mato da Cruz, através da construção de uma unidade de valorização energética.

De molde a não provocar problemas ambientais nas áreas circundantes, o projecto cumpre com todas as normas e exigências que constam do Decreto-Lei n.º 152/02 de 23 de Maio, designadamente no que se refere à captação e tratamento do biogás no que à legislação referente a emissões de gases de exaustão do motor diz respeito.

O prazo de execução da obra é de 270 dias a contar da data de adjudicação da empreitada, definido em função de um estudo efectuado a partir de projectos similares ao desta obra.

4.1 UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.1.1. Descrição geral da unidade

A unidade permitirá a valorização energética do biogás produzido por decomposição da fracção orgânica dos RU depositados no aterro, compreendendo a extracção do biogás do aterro, a sua utilização como combustível para a combustão nos dois grupos moto geradores de 625 KW de potência eléctrica unitária, projectados de acordo com os cálculos apresentados no capítulo 3.

A unidade é constituída pelos seguintes equipamentos:

- Poços de drenagem de biogás nas células do aterro;
- Rede superficial de transporte de biogás;
- Unidade de valorização energética, incluindo:
 - Dois grupos moto geradores de 625 KW da marca Jenbacher;
 - Sistema de limpeza do biogás, para remoção de componentes que possam danificar os equipamentos ou conduzir à emissão de poluentes;
 - Duas unidades de aspiração do biogás, de 500 m³/h;
 - Queimador a alta temperatura de 1000 Nm³/h;

- Um transformador elevador de tensão eléctrica de 2500 KVA;
- Quadros eléctricos.

A unidade de valorização energética está dimensionada para funcionar em plena carga, em contínuo, 24 horas por dia, 365 dias por ano, salvo durante paragens para manutenção programada ou em caso de avaria.

4.2. FUNCIONAMENTO DA UNIDADE DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

4.2.1. Rede de drenagem do biogás

A rede de drenagem e captação do biogás, do aterro sanitário é constituída, conforme já referido no capítulo 3, por 57 poços (Figura 4.1.).

A rede de drenos está no interior da massa de resíduos que se ligam aos colectores de superfície. Estes drenos são instalados durante a deposição dos resíduos, acompanhando o seu crescimento em altura e posicionados em cada alvéolo, garantindo deste modo a extracção parcial do biogás logo que os alvéolos são selados durante a deposição compartimentada dos resíduos.

De modo a evitar a acumulação dos condensados (líquidos resultantes do arrefecimento do biogás) nos pontos baixos e a consequente diminuição da eficiência do sistema de aproveitamento, são instalados separadores de condensados a cotas inferiores à da tubagem de drenagem do biogás.

Figura 4.1- Rede de captação do biogás (Fonte: Valorsul, 2010)



4.2.2. Compressores

Os colectores de drenagem do biogás estão ligados aos compressores que, mantendo um diferencial de pressão adequado ao longo de toda a tubagem, optimizam a extracção do biogás do aterro, assegurando deste modo o seu transporte até aos motores onde é injectado como combustível.

Cada compressor, Figura 4.2, poderá alimentar em simultâneo os 2 moto geradores previstos instalar, sendo a distribuição entre eles regulada por um equipamento específico, designado por módulo de regulação e bombagem.

Este módulo de comando e controlo automatizado assegura a optimização de extracção do biogás não só a nível quantitativo mas, também, a nível qualitativo, com os necessários reflexos na produção de energia, em função da qualidade pré-fixada para o biogás total.



Figura 4.2 - Compressores de bombagem do biogás

(Fonte: Automatic Flare Systems (AFS), 2009)

4.2.3. Moto geradores

O biogás comprimido é posteriormente injectado nos grupos moto geradores, com capacidade total instalada de 1250 kW, depois de terem sido controlados os principais parâmetros de qualidade do metano (CH_4).

Os grupos moto geradores da marca Jenbacher, têm 12 cilindros e uma cilindrada de 29.200cm³ (Figura 4.3.).

Os moto geradores estão equipados com um sistema de sensores que garantem que os parâmetros de funcionamento são cumpridos, assegurando uma combustão completa e a emissão de gases de escape dentro dos limites previstos legalmente.

Uma vez que os teores de siloxanos (sílica), presentes no biogás, reduzem a vida útil de vários componentes do motor, por depósito e corrosão, a UVE está equipada com um sistema de tratamento de filtro, por carvão activado, para remoção dos referidos compostos (Figura 4.4.).



Figura 4.3. Moto gerador



Figura 4.4. Sistema de tratamento de gases

A energia eléctrica produzida nos geradores, que estão directamente acoplados aos motores, quando em funcionamento, será conduzida a um transformador de 2500 kVA e elevada a 30 kV, antes de injectada na rede da EDP, para comercialização. Este equipamento encontra-se numa zona totalmente vedada e inacessível quando se encontra em tensão eléctrica.

4.2.4. Instrumentação e sistemas de comando e controle da UVE

O funcionamento desta unidade é automático e está programado para ajustamento automático em função da qualidade do metano. O sistema de controlo da central de biogás compreende duas linhas telefónicas fixas e duas ligações de dados ethernet entre o queimador, os grupos moto geradores e um computador. Esta linha tem 3 utilizações distintas:

- Envio de alarmes por parte dos grupos motogeradores;
- Acesso remoto ao painel de controlo para monitorização;

- Acesso telefónico ou Internet a partir do computador.

A ligação de dados entre o queimador e o computador permite a monitorização do caudal e composição do biogás, em termos de CH_4 e O_2 .

A ligação entre o computador e os grupos moto geradores poderá ser utilizada para monitorizar os grupos moto geradores através do computador.

Se um ou mais grupos moto geradores ficarem fora de serviço, por avaria ou manutenção, é garantida a alimentação do remanescente de biogás ao queimador de emergência, concebido para queimar e destruir o metano e o dióxido de carbono. Para a queima do biogás está prevista a instalação de um queimador de 1000 Nm³/h (Figura 4.5.).



Figura 4.5. Queimador de emergência

(Fonte: Automatic Flare Systems (AFS), 2009)

4.2.5. Paragem de emergência

Caso haja uma paragem de emergência dos motores, é enviado um alarme por parte dos grupos moto geradores, sendo que desta forma o técnico responsável pela central deslocar-se-á até à central para verificar o que originou essa paragem e proceder à respectiva reparação.

4.2.6. Sistemas de emergência e de segurança (detectores de fugas de gás)

Na UVE do biogás será instalado um sistema de detecção de gás que controla e monitoriza permanentemente a produção do biogás e eventuais fugas que possam existir ao longo das tubagens de captação e distribuição do biogás, no sentido de prevenir eventuais explosões resultantes dessas fugas.

4.2.7. Características do recinto destinado aos equipamentos.

A implantação geral da UVE do biogás tem uma área de implantação de cerca de 500 m², sobre a qual os equipamentos estão assentes em lajes de betão, sendo colocada brita nos espaços envolventes. O recinto contempla ainda, vedação, portão, vias de circulação e infra-estruturas de drenagem pluvial. É ainda contemplada uma rede de incêndio no recinto. (Figura 4.6.).



Figura 4.6. Recinto de implantação de uma UVE

(Fonte: Suldouro, 2009)

5. AVALIAÇÃO ECONÓMICA DO PROJECTO

5.1. LOCALIZAÇÃO DO PROJECTO

A localização do projecto é no Aterro Sanitário de Mato da Cruz, no Concelho de Vila Franca de Xira.

5.2. PRESSUPOSTOS

Os pressupostos para a análise económica do projecto são indicados no Quadro 5.1, utilizados na construção do cenário-base. Este conjunto de informações foi obtido junto da Direcção Financeira da Valorsul.

Quadro 5.1. Pressupostos de cálculo	
PRESSUPOSTOS	INDEXANTE
Taxa de inflação	1,9% ao ano
1º Ano actividade	2011
Amortização	Quotas constantes
Prazo médio de Recebimento - Clientes (dias)	30
Prazo médio de Pagamento - Fornecedores (dias)	60
Prazo médio de Recebimento - Estado (dias)	120
Prazo médio de Pagamento - Estado (dias)	30
Taxa de IVA - Vendas	6%
Taxa de IVA - Prestação Serviços	23%
Taxa de IVA - FSE	23%
Taxa de Segurança Social - colaboradores	11%
Taxa média de IRS	24%
Taxa de IRC	26,5%
Valor residual do Imobilizado	0%

É importante salientar que, a avaliação financeira do investimento que constitui o objecto deste trabalho contempla apenas a decisão de investimento, eminentemente económica, assumindo-se o pressuposto de que o financiamento das despesas totais de investimento será exclusivamente garantido por capitais próprios.

5.2.1. Preços constantes vs preços correntes

Numa primeira fase os *cash flows* serão calculados a preços constantes, assumindo-se assim que a inflação esperada é zero. Posteriormente utilizar-se-á a metodologia de preços correntes, considerando-se o efeito da inflação expectável (1,9%) nos diferentes componentes relevantes dos *cash flows*.

5.2.2. Taxa de inflação

A taxa de inflação foi definida segundo as previsões do Banco de Portugal que divulgou em Dezembro de 2009 o seu Boletim Económico de Inverno onde indicava uma taxa de 1,9% em 2011, valor que decidimos adoptar até ao fim do projecto por considerarmos que, apesar da actual conjuntura económica internacional recessiva, já há sinais positivos no que se refere à recuperação das principais economias internacionais, designadamente a dos EUA e da Alemanha.

5.3. TIPOLOGIA DO PROJECTO DE INVESTIMENTO

O projecto em estudo é considerado como um projecto integrado na empresa, classificado como investimento no “*core business*” da Valorsul, designadamente na produção de energia eléctrica.

Para a realização da avaliação económica do investimento, recorreu-se ao modelo económico utilizado pela Valorsul na análise de viabilidade de projectos.

5.4. RECEITAS DE EXPLORAÇÃO DA UNIDADE

As receitas deste projecto de investimento são resultantes da venda da energia eléctrica produzida e injectada no Sistema Eléctrico de Serviço Público, cujo valor unitário de venda é de 104 €/MW, valor calculado nos termos do Decreto-Lei n.º 33-A/2005, de 16 de Fevereiro, que estabelece a remuneração da produção de electricidade a partir da valorização de recursos renováveis, enquadrada no conceito de “energia verde”.

De sublinhar que, aquele valor de venda é garantido por um prazo considerado suficiente para promover o aumento da contribuição das fontes de energia renováveis para a produção de electricidade.

No caso particular de valorização energética de biogás, na vertente de gás de aterro, a referida garantia de remuneração é aplicável por um prazo máximo de 15 anos, a contar desde o início do fornecimento de electricidade à rede, sem limite de fornecimento de energia.

Assim, face ao exposto, foi considerado um preço fixo de venda de 104€/MW, a preços constantes de 2010, aplicável durante todo o período de exploração.

No Quadro 5.2. é apresentada a evolução do Volume de Negócios, que dizem respeito exclusivamente à venda de electricidade à REN.

Quadro 5.2. Volume de Negócios											
											Valores em K euros
Proveitos Operacionais	Unidades	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Horas de operação	h	8.234	8.147	7.972	8.059	7.972	8.234	8.147	7.972	8.234	8.147
Energia recuperada	kWe	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250
Energia vendida REN	MWh	10.293	10.184	9.965	10.074	9.965	10.293	10.184	9.965	10.293	10.184
Preço de venda	€/MWh	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0	104,0
TOTAL	<i>K euros</i>	1.070,5	1.059,1	1.036,3	1.047,7	1.036,3	1.070,5	1.059,1	1.036,3	1.070,5	1.059,1

5.5. CUSTOS DE EXPLORAÇÃO

A estrutura dos custos de exploração é constituída essencialmente pelas seguintes parcelas:

- Custos com a manutenção dos equipamentos;
- Encargos com autoconsumo de energia eléctrica;
- Seguros;
- Outros encargos.

5.5.1. Custos com a manutenção dos equipamentos

No que se refere aos custos com a manutenção e reparação prevê-se um valor hora de €11,0, função da disponibilidade de funcionamento dos moto geradores. Este valor baseia-se em

dados reais de empresas cuja actividade é similar à da Valorsul, que dispõem de equipamentos semelhantes aos que foram dimensionados para o projecto em estudo.

Os custos com a manutenção e reparação representam a parcela mais significativa dos custos de exploração do projecto que é de aproximadamente de € 181.157 anuais (a preços constantes de 2010).

De sublinhar que, os contaminantes presentes no biogás são muito corrosivos, o que implica a necessidade de uma manutenção rigorosa e sistemática de modo a garantir a funcionalidade e durabilidade dos equipamentos e dos respectivos componentes a eles associados.

A disponibilidade anual, em número de horas de funcionamento, dos grupos moto geradores, para os 10 anos de exploração, é apresentada no Quadro 5.3., que serviu de base ao cálculo dos custos de manutenção.

Quadro 5.3. Disponibilidade dos grupos motogeradores		
Ano	DISPONIBILIDADE	
	Horas	%
1	8234	94
2	8147	93
3	7972	91
4	8059	92
5	7972	91
6	8234	94
7	8147	93
8	7972	91
9	8234	94
10	8147	93

(Fonte: *GE Jenbacher*, 2009)

De referir que estas disponibilidades pressupõem que todas as operações de manutenção sejam efectuadas de acordo com os planos definidos pelos fabricantes e realizadas por técnicos qualificados e com formação adequada às especificidades dos equipamentos.

O Quadro 5.4. resume, a preços constantes, os custos com a manutenção e reparação dos equipamentos, que se verificam a partir do primeiro ano de exploração (2011) e se estendem até ao fim do projecto (2020).

Quadro 5.4. Custos de manutenção											
CUSTOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Valores em K euros										
Manutenção Equipamentos (11€ / hora) x 2 Motores	0	181,2	179,2	175,4	177,3	175,4	181,2	179,2	175,4	181,2	179,2

5.5.2. Encargos com autoconsumo de energia eléctrica

Os custos com o autoconsumo de energia eléctrica dizem respeito aos consumos de energia com a iluminação da UVE, órgãos auxiliares, moto geradores, compressores, queimador de emergência e transformador.

Os encargos anuais com aqueles consumos de energia eléctrica representam cerca de 4,8% da produção total de energia, estimando-se que no 1º ano os custos rondem €42.984 (preços constantes). Este valor resulta do produto da produção anual de energia, que em 2011 ronda 10.293 (MWh/ano), pelos 4,8%, multiplicado pelo preço de compra (87 €/MWh).

5.5.3. Encargos com seguros

O valor deste encargo de € 2.400 anuais, refere-se à cobertura do equipamento adquirido. De acordo com a experiência da Valorsul foi considerada uma percentagem fixa de 0.12% sobre o valor do investimento em imobilizado corpóreo.

5.5.4. Outros custos

Nesta rubrica incluem-se os custos com fardamentos para o pessoal, consumíveis administrativos, comunicações, formação, limpeza das instalações e ferramentas, tendo sido considerado um custo de € 5.400 anuais que representam aproximadamente 0,5% do total da facturação anual.

5.6. ENCARGOS COM PESSOAL

A Unidade de Valorização Energética necessita da afectação permanente de dois técnicos para a realização das operações diárias de controlo e verificação da rede de biogás e da supervisão das operações da unidade.

Os encargos com o pessoal de operação resultam da remuneração anual acrescida dos encargos com a segurança social (23,75%), subsídio de almoço (€ 8/dia) e seguro de acidentes de trabalho (1,5% da remuneração bruta). No cálculo dos custos considerou-se uma base salarial bruta de 1100 €/mês x 14 meses, a preços constantes.

Custos com pessoal administrativo não foram considerados uma vez que estas actividades, não têm significado em termos de custos, podendo ser facilmente asseguradas pelo pessoal já existente no aterro sanitário.

O Quadro 5.5. resume, a preços constantes, os custos com pessoal.

Quadro 5.5. Custos com pessoal											
CUSTOS COM PESSOAL	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Valores em K euros											
Nº Meses	0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Técnicos de manutenção e operação		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Remuneração base mensal		1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Total de Remunerações		30,8									
Subsidio de alimentação											
Número de dias		221	221	221	221	221	221	221	221	221	221
Valor diário do subsídio		0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085
Total Subsidio Alimentação		3,8									
Seguros Acidentes de Trabalho		0,5									
Segurança Social		7,3									
TOTAL		42,3									

5.7. CUSTOS TOTAIS DE EXPLORAÇÃO

O Quadro 5.6. resume o total de custos de exploração para boa execução do projecto.

Quadro 5.6. Custos de exploração											
CUSTOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	Valores em K euros										
Manutenção Equipamentos	0,0	181,2	179,2	175,4	177,3	175,4	181,2	179,2	175,4	181,2	179,2
Autoconsumo de energia	0,0	43,0	42,5	41,6	42,1	41,6	43,0	42,5	41,6	43,0	42,5
Seguros	0,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Custos com pessoal	0,0	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3
Outros custos	0,0	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Total	0,0	274,3	271,9	267,1	269,5	267,1	274,3	271,9	267,1	274,3	271,9

5.8. INVESTIMENTO EM CAPITAL FIXO

O Quadro 5.7. discrimina o investimento necessário para a execução do projecto. A metodologia utilizada na orçamentação dos equipamentos foi através da obtenção de propostas, no âmbito de um Concurso Público Internacional, para a concepção e construção da UVE. O investimento é todo realizado nos finais de 2010, não se prevendo a necessidade de se efectuar mais investimentos até ao fim do projecto.

Quadro 5.7. Investimento												
	Valores em K euros											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Estudos e Projectos	30,0											30
Motogeradores	950,0											950
Compressores	195,0											195
Transformador	115,0											115
Rede captação biogás	70,4											70
Tratamento de gases	320,0											320
Construção civil	100,0											100
Equipamentos eléctricos	97,1											97
Total	1.877,5	0	1.877,5									

5.8.1. Amortizações

O período considerado para o cálculo da amortização anual do investimento foi de 10 anos, correspondendo à vida útil dos equipamentos, utilizando-se para o efeito o método das quotas constantes, à taxa de 10%.

Não foi considerado qualquer investimento de renovação, considerando-se que a substituição de peças e sobressalentes dos equipamentos está abrangida pela despesa anual de conservação e reparação.

5.8.2. Valor residual

Não foi considerado qualquer valor residual na medida em que a vida útil dos equipamentos que integram as despesas totais de investimento se esgota com a conclusão do projecto. Por outro lado, as receitas com a venda dos equipamentos usados anula-se com os custos referentes ao seu desmantelamento.

5.9. INVESTIMENTO EM FUNDO DE MANEIO NECESSÁRIO

Em primeiro lugar, obteve-se junto da Direcção da Valorsul as informações necessárias relacionadas com as políticas de gestão financeira de curto prazo, designadamente a política de concessão de crédito aos clientes e a política de pagamentos aos fornecedores. No que se refere aos clientes, foi considerado um prazo médio de recebimentos correspondente a 30 dias de vendas. Relativamente aos fornecedores, o prazo médio de pagamentos considerado foi de 60 dias de FSE. No que ao Estado e outras entidades publicas diz respeito a Valorsul cumpre estritamente todas as suas obrigações legais nomeadamente os prazos legais de pagamento de impostos.

As despesas para imprevistos geralmente ocorridos por problemas verificados nos projectos de construção civil ou no estudo da implantação dos equipamentos e por eventuais desvios na estimativa das despesas em fundo de maneo necessário como, por exemplo, as resultantes do alargamento do prazo de recebimento previsto para os créditos concedidos aos clientes, não foram consideradas na medida em que não se prevê a sua existência.

Este projecto possui como característica relevante não requerer a necessidade de realizar qualquer aplicação de fundos em inventários.

O Quadro 5.8. apresenta todas as informações relacionadas com o investimento em FMN.

Quadro 5.8. Investimento em Fundo de Maneio Necessário										
	Valores em K euros									
Rubricas	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Necessidades Fundo Maneio										
Clientes	94,6	93,6	91,5	92,5	91,5	94,6	93,6	91,5	94,6	93,6
Estado	101,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	196,4	93,6	91,5	92,5	91,5	94,6	93,6	91,5	94,6	93,6
Recursos Fundo Maneio										
Fornecedores	46,3	45,8	44,8	45,3	44,8	46,3	45,8	44,8	46,3	45,8
Estado	0,0	6,1	6,0	6,0	6,0	6,2	6,1	6,0	6,2	6,1
TOTAL	46,3	51,9	50,8	51,4	50,8	52,4	51,9	50,8	52,4	51,9
Fundo Maneio Necessário	150,1	41,7	40,7	41,2	40,7	42,1	41,7	40,7	42,1	41,7
Investimento em Fundo de Maneio	150,1	-108,4	-1,0	0,5	-0,5	1,4	-0,5	-1,0	1,43	-0,5
ESTADO	-101,8	6,1	6,0	6,0	6,0	6,2	6,1	6,0	6,2	6,1
SS	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
IRS	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
IVA	-103,3	4,60	4,49	4,55	4,49	4,66	4,60	4,49	4,66	4,60

Relativamente ao FMN, verifica-se que a rubrica Clientes é a que assume alguma relevância, mantendo-se esse valor mais ou menos constante, traduzindo de alguma forma a pouca variação do volume de facturação ao longo do período de exploração do projecto.

Excepção feita ao primeiro ano de actividade, que mostra a necessidade de se canalizar parte significativa da liquidez gerada para garantir o investimento em FMN, a partir do segundo ano essa tendência inverte-se traduzindo-se não em investimento mas em desinvestimento em FMN, como aliás se pode concluir pela análise do Quadro 5.8.

5.10. DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS PREVISIONAIS

Com a informação que foi calculada até este momento e os pressupostos adicionais anteriormente abordados, construiu-se a Demonstração de Resultados previsionais, a preços correntes, que se apresenta no Quadro 5.9.

QUADRO 5.9. Demonstração de Resultados											
											Valores em K euros
DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Volume de Negócios	0	1090,8	1099,7	1096,5	1129,6	1138,6	1198,5	1208,2	1204,7	1268,1	1278,4
Custos de exploração	0	279,5	282,3	282,6	290,6	293,5	307,0	310,2	310,5	324,9	328,2
EBITDA	0	811,3	817,4	813,9	839,1	845,1	891,4	898,1	894,2	943,2	950,2
Amortizações	0	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8
EBIT	0	623,6	629,7	626,1	651,3	657,4	703,7	710,3	706,5	755,4	762,5
Imposto sobre lucros (26,5%)	0	165,3	166,9	165,9	172,6	174,2	186,5	188,2	187,2	200,2	202,1
Resultado Líquido	0	458,3	462,8	460,2	478,7	483,2	517,2	522,1	519,2	555,2	560,4

5.11. CASH FLOW DO PROJECTO

O valor do *cash flow*, a preços correntes é apresentado no Quadro 5.10.

QUADRO 5.10. Cash flow operacional											
											Valores em K euros
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Resultados Líquidos		458,3	462,8	460,2	478,7	483,2	517,2	522,1	519,2	555,2	560,4
Amortizações		187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8	187,8
Cash Flow Operacional		646,1	650,6	648,0	666,5	670,9	704,9	709,8	707,0	743,0	748,2
Investimento em capital fixo	1.877,5										
Investimento em FMN		150,1	-108,4	-1,0	0,5	-0,5	1,4	-0,5	-1,0	1,4	-0,5
CASH FLOW Liberto	-1.877,5	496,0	759,0	648,9	666,0	671,4	703,5	710,3	707,9	741,6	748,7
CASH FLOW Acumulado	-1.877,5	-1.381,5	-622,5	26,4	692,4	1.363,8	2.067,3	2.777,6	3.485,5	4.227,1	4.975,7

5.12. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROJECTO

Apurados os *cash flows*, foi necessário calcular a taxa de actualização ou de desconto adequada ao projecto. No caso em análise, a taxa é de 9,9%, calculada de acordo com a aplicação da seguinte expressão:

$$r = \text{OT a 10 anos} + \text{Prémio de risco} + \text{Taxa de inflação} = 9,9 \%$$

Onde,

- r = taxa de actualização
- OT - Obrigações de Tesouro a 10 anos = 5% (Fonte: IGCP - *Instituto de Gestão da Tesouraria e do Crédito Público*, Outubro, 2010)
- Prémio de risco = 3% (exigida pelos accionistas da empresa)
- Taxa de inflação = 1,9%

Uma vez determinada a taxa de desconto, recorreu-se ao Método de Avaliação do VAL (Valor Actual Líquido), para o cálculo dos *cash flows* actualizados. Simultaneamente calculou-se a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e o Período de Recuperação do Investimento (PRI). Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 5.11.

QUADRO 5.11. Cálculo do VAL , TIR e PRI											
	Valores em K euros										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<i>CASH FLOW</i> Liberto	-1.877,5	496,0	759,0	648,9	666,0	671,4	703,5	710,3	707,9	741,6	748,7
<i>CASH FLOW</i> Acumulado	-1.877,5	-1.381,5	-622,5	26,4	692,4	1.363,8	2.067,3	2.777,6	3.485,5	4.227,1	4.975,7
Taxa de actualização	9,9%										
Coefficiente de actualização	1	0,910	0,828	0,753	0,686	0,624	0,568	0,516	0,470	0,428	0,389
<i>Cash-Flow</i> Actualizado	-1.877,5	451,3	628,4	488,9	456,5	418,8	399,3	366,8	332,7	317,1	291,3
<i>Cash-Flow</i> Actualizado Acumulado	-1.877,5	-1.426,2	-797,8	-308,9	147,6	566,4	965,7	1.332,5	1.665,2	1.982,3	2.273,5
VAL	2.273,5										
TIR	32,4%										
PRI	4ºAno										

Considerando o cenário-base do projecto, verifica-se que apresenta um VAL positivo, concluindo-se assim que o projecto é economicamente viável, pois permite cobrir o investimento efectuado, cobrir a remuneração mínima exigida pelos accionistas, e ainda gerar um excedente no valor de 2.273,5 milhares de euros.

No que à TIR diz respeito, considerando que a taxa de remuneração deste projecto é de 32,4%, e que a taxa exigida pelos investidores é de 9,9%, podemos concluir que o projecto continua a ser viável e que deve por isso ser aceite pelos accionistas.

Relativamente ao PRI, pretendeu-se com esta metodologia calcular o número de períodos necessário para, através dos *cash flows* (actualizados) gerados pelo projecto, recuperar o capital investido. Atendendo aos valores acumulados do *cash flow* actualizado verifica-se que o período de recuperação do investimento é inferior à vida útil (10 anos) do projecto, situando-se em 3,7 anos.

5.13. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com o objectivo de ser avaliado em que medida é que a rentabilidade do projecto se altera em consequência da modificação, face ao previsto, de uma ou mais variáveis, recorreu-se à análise de sensibilidade apresentada neste ponto, onde se reproduz a sensibilidade do VAL e da TIR relativamente à variação de um (sensibilidade univariada) ou dois pressupostos (sensibilidade multivariada) do projecto.

As variáveis críticas seleccionadas, determinantes para a realização do projecto foram:

- Preços de venda de energia à REN - tendência para revisão em baixa do valor de incentivo – “energia verde”)
- Produção de energia eléctrica - tendência para redução por desvio de matéria orgânica de aterros, responsável pela produção do biogás (Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, fixa o seguinte objectivo: até Julho de 2020 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

- Incentivos ao investimento (No âmbito do QREN, podem beneficiar de subsídios a fundo perdido, até ao limite máximo de 50% (em percentagem do investimento elegível), as empresas que prestem serviços de carácter inovador, com relevância nacional, nomeadamente do ponto de vista energético, económico e ambiental, inseridas em regiões classificadas como subsidiárias, que não é o caso da Região de Lisboa e Vale do Tejo, onde se insere este projecto.

1ª Análise de Sensibilidade

A primeira análise de sensibilidade é feita à variação do preço de venda da energia (€/MWh), 10% inferior ao previsto, mantendo-se os pressupostos das restantes variáveis constantes. Os resultados obtidos e os indicadores de rentabilidade do investimento são os que se apresentam no quadro seguinte:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cash-Flow Actualizado Acumulado	-1.877,5	-1.492,0	-930,6	-502,6	-102,9	263,6	613,1	934,0	1.225,0	1.502,3	1.757,0
VAL	1.757,0										
TIR	27,8%										
PRI	5ºAno										

De acordo com os resultados obtidos, o interesse do investimento mantém-se. No entanto verifica-se que, uma redução de 10% do preço de venda implica uma diminuição do VAL de 22,7 % (de 2.273,5 milhares de euros de para 1.757,0 milhares de euros).

2ª Análise de Sensibilidade

Admitindo agora que o preço de venda da energia é 20% inferior ao previsto, os resultados obtidos e os indicadores de rentabilidade do investimento são os seguintes:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cash-Flow Actualizado Acumulado	-1.877,5	-1.557,8	-1.063,4	-696,2	-353,4	-39,1	260,5	535,5	784,8	1.022,4	1.240,5
VAL	1.240,5										
TIR	23,0%										
PRI	6ºAno										

A segunda análise de sensibilidade revela que, apesar do preço de venda ser 20% inferior ao previsto, o projecto continua a ter interesse, embora se verifique uma redução de 45,4% no VAL.

3ª Análise de Sensibilidade

Considerando, agora, que a produção de energia é 15% inferior à estimada, os resultados obtidos e os indicadores de rentabilidade do investimento são os que se apresentam no quadro seguinte:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cash-Flow Actualizado Acumulado	-1.877,5	-1.524,9	-997,0	-599,4	-228,1	112,3	436,8	734,7	1.004,9	1.262,4	1.498,7
VAL	1.498,7										
TIR	25,4%										
PRI	5ºAno										

Face aos resultados obtidos, constata-se que o projecto continua a ter interesse do ponto de vista económico, pois permite cobrir o valor do investimento efectuado, cobrir a remuneração mínima exigida pelos accionistas, e ainda gerar um excedente no valor de 1.498,7 milhares de euros.

4ª Análise de Sensibilidade

Considerando uma análise de sensibilidade multivariada em que se verifica uma redução de 10% do preço de venda, em relação ao estimado, e simultaneamente uma redução de 15% na quantidade de energia produzida, face à inicialmente prevista, os resultados obtidos e os indicadores de rentabilidade do investimento são os que se apresentam no quadro seguinte:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cash-Flow Actualizado Acumulado	-1.877,5	-1.580,8	-1.109,9	-764,0	-441,1	-145,1	137,1	396,0	630,7	854,4	1.059,7
VAL	1.059,7										
TIR	21,2%										
PRI	6ºAno										

A quarta análise de sensibilidade multivariada confirma que, apesar de uma redução de 53,3% do VAL, o projecto ainda mantém uma razoável rentabilidade.

5ª Análise de Sensibilidade

Finalmente, considerando a hipótese de se estar na presença de um projecto de investimento implementado no quadro de uma estrutura de financiamento que contemple a concessão de um subsídio a fundo perdido, no montante de 35% (em percentagem do investimento elegível), mantendo-se os pressupostos das restantes variáveis constantes, obtêm-se os seguintes resultados:

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cash-Flow Actualizado Acumulado	-1.220,4	-750,6	-167,9	307,9	752,5	1.160,4	1.549,8	1.907,7	2.232,1	2.541,8	2.826,3
VAL	2.826,3										
TIR	49,9%										
PRI	4ºAno										

A quinta e última análise de sensibilidade revela que o projecto, com apoio ao investimento, regista uma melhoria significativa dos indicadores de rentabilidade, em relação ao cenário base, sofrendo o VAL e a TIR um aumento de 24,3% e 54%, respectivamente.

Face aos resultados globais obtidos, conclui-se que o projecto pela sua rentabilidade intrínseca apresenta uma elevada tolerância a alterações quer do preço de venda quer à redução da quantidade de energia produzida.

6. CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objectivo analisar a viabilidade económica de um projecto de investimento na valorização energética do biogás produzido no Aterro Sanitário de Mato da Cruz, a partir da decomposição dos resíduos urbanos.

Como principais conclusões deste trabalho destacam-se:

A demonstração que o projecto de investimento na valorização energética do biogás produzido no aterro sanitário de Mato da Cruz possui um satisfatório potencial económico, pois permite cobrir o investimento efectuado, cobrir a remuneração mínima exigida pelos accionistas, e ainda gerar um excedente no valor de 2.273,5 milhares de euros.

Os ganhos ambientais não valorizados no modelo económico:

- A aposta nas energias renováveis como é o caso do biogás com vários benefícios - o aproveitamento de fontes de energia nacionais com redução da utilização de energias de origem fóssil, mais poluentes e mais escassas;
- O investimento que representa uma poupança de 8.000 TEP – toneladas equivalentes de petróleo, contribuindo, ainda que numa escala reduzida, para a redução da nossa factura energética com o exterior, e consequente sustentabilidade energética do País;
- A possibilidade da não importação de 55.600 BEP – barris equivalentes de petróleo;
- A valorização energética do biogás realizada neste projecto como contributo para a prevenção da emissão de 726.605 toneladas de CO_2 , para a atmosfera;
- A demonstração através do presente estudo que o biogás produzido no Aterro Sanitário Mato da Cruz possui um potencial energético de aproximadamente 11.500 MWh/ano, suficiente para abastecer uma cidade de 4.500 habitantes.

A alta sensibilidade do modelo à quantidade do biogás no aterro faz com que as estimativas, apuradas por modelos teóricos, sejam confirmadas com regularidade com ensaios de campo, através de medições regulares nos poços, em termos de caudais e qualidade do biogás.

Nos casos de apoio ao investimento com subsídio a fundo perdido, o projecto é altamente rentável do ponto de vista económico como, aliás, ficou demonstrado.

6.2.RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

O aproveitamento energético do biogás produzido nos aterros sanitários de resíduos urbanos constitui um investimento economicamente viável, excepção feita para os pequenos aterros, com capacidades inferiores a 35 toneladas ano ou, aqueles onde a deposição de resíduos urbanos biodegradáveis seja reduzida.

A forma mais simples de captar o biogás é por meio de tubos verticais perfurados. No entanto, a montagem de tubos de sucção horizontais quando os resíduos ainda estão a ser depositado no aterro pode maximizar a extracção do biogás, desde o inicio da sua produção.

A montagem de uma membrana impermeável colocada sobre o aterro permite que todo o biogás possa ser recuperado. Porém, esta solução obstrui a entrada de água impedindo assim a formação do biogás. Para que haja continuidade na produção de biogás, é necessário fazer a injeção de água sobre a membrana ou promover a recirculação dos lixiviados, injectando-o da mesma maneira.

De sublinhar que a decisão em investir em projectos desta natureza deve ser precedida de um estudo técnico rigoroso que tenha em consideração aspectos fundamentais como; a modelação do aterro; o conhecimento da evolução das transformações no seio da massa de resíduos, com vista à previsão do tempo que o aterro manterá em seu seio reacções biológicas e físicas; a realização de monitorizações regulares no sentido de acompanhar a evolução da quantidade e qualidade do biogás produzido; analisar a possibilidade de captação do biogás durante as fases de enchimento das células, com o objectivo de maximizar a sua captação.

BIBLIOGRAFIA

Monografias:

Barlaz, M.A. et al. (1997), *Methane potential of food waste and anaerobic produced during food waste decomposition*. Waste Management & Research.

Christensen T.H. e Cossu R. E Stegmann R. (1990), *Waste Sanitary Landfilling – Process, Technology and Environmental Impact* – Academic Press.

Christensen T.H. e Cossu R. E Stegmann R. (1996), *Landfilling of Waste – Biogás* : E&FN Spon..

Levy, J. e Cabeças, A.J. (2006), *Resíduos Sólidos Urbanos – Princípios e Processos*. Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente.

Mota, António Gomes e Custódio, Cláudia (2008), *Finanças da Empresa*, 4.^a Edição. Lisboa: Deplano Network

Oliveira, J.F e Mendes B. E Lapa Nuno (2009), *Resíduos, Gestão, Tratamento e sua Problemática em Portugal*: Lidel – Edições Técnicas

Robert A. Risten, Jack Kraushaar (1999) – *Energy and environment – Power of microtubines with landfill gas*, New York United States Environment Protection Agency.

Steinhauser A. e Deublein, D. (2008), *Biogas from Waste and Renewable Resources*. WILEY-VCH Verlag Gmb & Co. KGaA.

Tchobanoglous, G. e H. Theisen e S. Vigil (1993), *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc. International Edition, New York.

Teses:

Caetano, N. (2009), *Análise da Viabilidade Económica - Financeira de uma Unidade de Resíduos Industriais não Perigosos em Portugal*. Dissertação de Mestrado em Gestão; ISCTE Business Scholl.

Russo, M. (2005), *Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil; Universidade do Minho – Escola de Engenharia

Silva, A.S. (Maio 2009), *Avaliação de Projecto de Investimento*. Tese de Mestrado em Finanças, ISCTE.

Working papers:

A. A. Tsave, P. M. Soupios and E. S. Karapidakis (2006), Energy Potential of Biogas Generation Landfills : *Experimental Investigations*, E Technological Educational Institute of Crete, Dept. of Natural Resources & Environment, 73133, Chania, Greece.

Referências não publicadas retiradas da internet:

Agência Europeia do Ambiente (EEA) (2010), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/total-waste-generation-in-the-pan-european-region-1996-2004>.

Agência Portuguesa do Ambiente (2010)

http://www.apambiente.pt/politicambiente/Residuos/gestaoresiduos/RU/Documents/Relatorio_RU_2009.pdf

Direcção - Geral de Energia e Geologia (2010), Estatísticas Energias Renováveis – Biogás, <http://www.dgge.pt/aaaDefault.aspx?back=1&f=1&mcna=1&lnc=>.

IAPMEI, (2010), Como elaborar um plano de negócios,

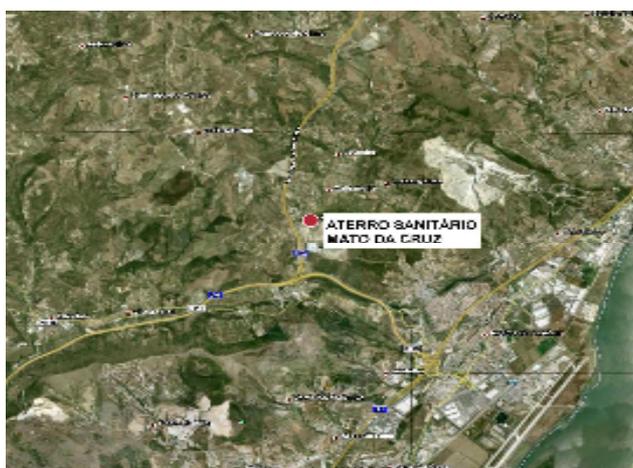
<http://www.iapmei.pt/resources/download/GuiaPraticodoCapitaldeRisco2604.pdfwww.iapmei.pt>.

Zamorano, M. e Pérez, J. (2005), Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=18403360>.

ANEXOS

ANEXO A – Localização do projecto



ANEXO B – Rede de biogás do Aterro Sanitário de Mato da Cruz

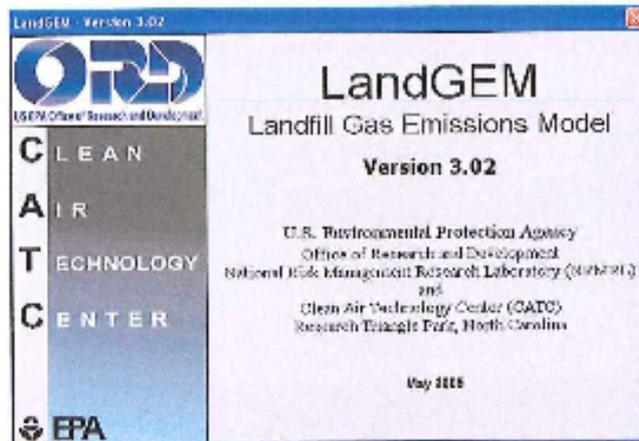


Legenda :

 Rede de biogás da célula do antigo aterro de Vila Franca de Xira

 Rede de biogás da célula 1

**ANEXO C - Modelo LandGEM – Cálculo teórico da produção de biogás do AS de
Mato da Cruz**



Summary Report

Landfill Name or Identifier: *Aterro Sanitário de Mato da Cruz*

Date: #####

Description/Comments:

About LandGEM:

First-Order Decomposition Rate Equation:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Where

Q_{CH_4} = annual methane generation in the year of the calculation ($m^3/year$)

t = 1-year time increment

n = [year of the calculation] - [initial year of waste acceptance]

j = 0.1-year time increment

k = methane generation rate ($year^{-1}$)

L_o = potential methane generation capacity (m^3/Mg)

M_i = mass of waste accepted in the i^{th} year (Mg)

t_{ij} = age of the j^{th} portion of waste mass M_i accepted in the i^{th} year (decimal years, e.g., 3.2 years)

LandGEM is based on a first-order decomposition rate equation for quantifying emissions from the decomposition of landfilled waste in municipal solid waste (MSW) landfills. The software provides a relatively simple approach to estimating landfill gas emissions. Model defaults are based on empirical data from U.S. landfills. Field test data can also be used in place of model defaults when available. Further guidance on EPA test methods, Clean Air Act (CAA) regulations, and other guidance regarding landfill gas emissions and control technology requirements can be found at <http://www.epa.gov/trated/landfill/landfill.html>.

LandGEM is considered a screening tool — the better the input data, the better the estimates. Often, there are limitations with the available data regarding waste quantity and composition, variation in design and operating practices over time, and changes occurring over time that impact the emissions potential. Changes to landfill operation, such as operating under wet conditions through leachate recirculation or other liquid additions, will result in generating more gas at a faster rate. Defaults for estimating emissions for this type of operation are being developed to include in LandGEM along with defaults for conventional landfills (no leachate or liquid additions) for developing emission inventories and determining CAA applicability. Refer to the Web site identified above for future updates.

MODEL0 Landgem v202.xls

08/11/2010

USER INPUTS

Landfill Name or Identifier:

Clear ALL Non-Parameter Inputs/Selections

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1997	Waste Design Capacity entered is not used by the model unless 'Have Model Calculate Closure Year?' option is Yes.
Landfill Closure Year	2014	
Have Model Calculate Closure Year?	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No	
Waste Design Capacity	1,210,004	<input type="text" value="m³/yr"/>

Restore Default Model Parameters

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year ⁻¹)	<input type="text" value="0.04"/>
Potential Methane Generation Capacity, L _c (m ³ /Mg)	<input type="text" value="Inventory Conventional - 100"/>
NMOC Concentration (ppmv as hexane)	<input type="text" value="CAA - 4,000"/>
Methane Content (% by volume)	<input type="text" value="CAA - 50% by volume"/>

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1	<input type="text" value="Total landfill gas"/>	Default pollutant parameters are currently being used by model.	Edit Existing or Add New Pollutant Parameters
Gas / Pollutant #2	<input type="text" value="Methane"/>		
Gas / Pollutant #3	<input type="text" value="Carbon dioxide"/>	Restore Default Pollutant Parameters	
Gas / Pollutant #4	<input type="text" value="NMOC"/>		

Description/Comments:

Input Review

LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year	1997	
Landfill Closure Year (with 60-year limit)	2014	
Actual Closure Year (without limit)	2014	
Have Model Calculated Closure Year?	No	
Waste Design Capacity	1,910,054	megagrams

MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, K	0.040	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	100	m ³ /kg
NMOC Concentration	4.000	percent as heptane
Methane Content	60	% by volume

GASES/POLLUTANTS SELECTED

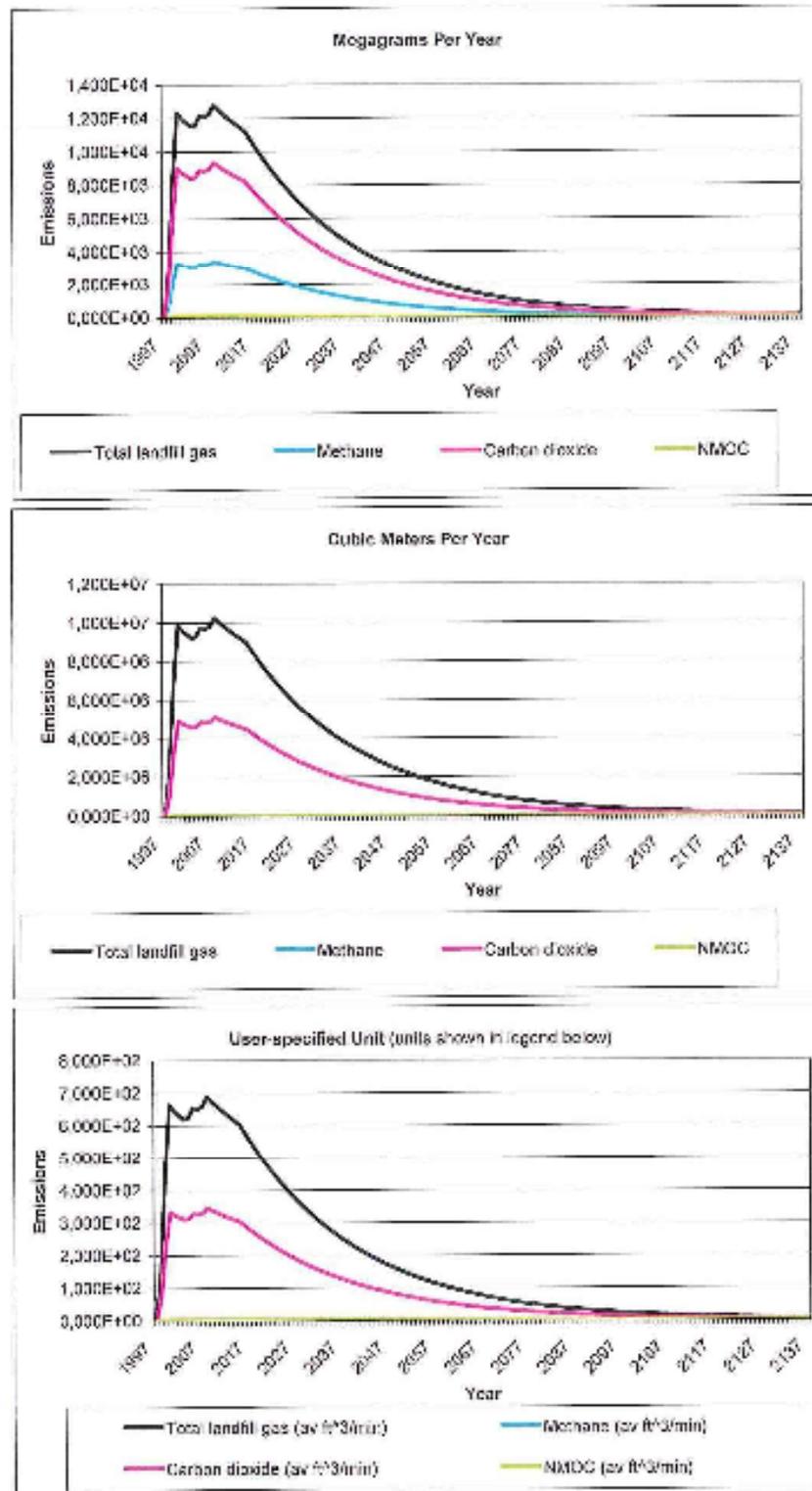
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas
Gas / Pollutant #2:	Methane
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide
Gas / Pollutant #4:	NMOC

WASTE ACCEPTANCE RATES

Year	Waste Accepted		Waste-in-Place	
	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)
1997	279,023	306,626	0	0
1998	584,221	653,643	279,023	306,626
1999	429,515	472,470	873,244	960,555
2000	12,032	13,268	1,302,702	1,433,035
2001	26,228	27,749	1,314,524	1,448,305
2002	24,073	26,480	1,319,050	1,474,855
2003	53,438	55,748	1,384,123	1,500,635
2004	104,033	114,436	1,417,531	1,526,294
2005	41,000	45,088	1,421,564	1,573,720
2006	69,515	73,967	1,483,372	1,718,780
2007	109,400	112,640	1,497,887	1,750,679
2008	25,681	28,249	1,739,257	1,903,313
2009	26,601	28,249	1,706,955	1,931,585
2010	25,681	28,249	1,701,519	1,958,814
2011	25,681	28,249	1,607,330	1,988,069
2012	25,681	28,249	1,538,011	2,010,312
2013	25,681	28,249	1,508,692	2,044,581
2014	25,681	28,249	1,484,373	2,072,810
2015	0	0	1,910,054	2,101,069
2016	0	0	1,910,054	2,101,069
2017	0	0	1,910,054	2,101,069
2018	0	0	1,910,054	2,101,069
2019	0	0	1,910,054	2,101,069
2020	0	0	1,910,054	2,101,069
2021	0	0	1,910,054	2,101,069
2022	0	0	1,910,054	2,101,069
2023	0	0	1,910,054	2,101,069
2024	0	0	1,910,054	2,101,069
2025	0	0	1,910,054	2,101,069
2026	0	0	1,910,054	2,101,069
2027	0	0	1,910,054	2,101,069
2028	0	0	1,910,054	2,101,069
2029	0	0	1,910,054	2,101,069
2030	0	0	1,910,054	2,101,069
2031	0	0	1,910,054	2,101,069
2032	0	0	1,910,054	2,101,069
2033	0	0	1,910,054	2,101,069
2034	0	0	1,910,054	2,101,069
2035	0	0	1,910,054	2,101,069
2036	0	0	1,910,054	2,101,069

GRAPHS

Landfill Name or Identifier: Aterro Santário de Melo de Guiz



GRAPHS - 1

ANEXO D - Implantação da Unidade de Valorização Energética

**ANEXO E - Características técnicas do grupo motor gerador Jenbacher GC 312 GS–
L.L de 625 KWel**



MOTOR		
Poder calorífico inferior do gás (PCI)	KWh/Nm ³	4
Input Energético	KW	1,578
Caudal de gás	Nm ³ /h	395
Potência mecânica	KW	646
Potência eléctrica	KW	625
Consumo específico de combustível	KWh/KWh	2,44
Rendimento eléctrico	%	39,6
Temperatura dos gases de escape	°C	498
Número de cilindros		12
Cilindrada	Litros	29,20
Velocidade Nominal	* r.p.m	1 500
Comprimento do contentor	mm	12 200
Largura do contentor	mm	2 500
Altura do contentor	mm	2 600
Peso do contentor	Kg	19 400

* r.p.m – rotações por minuto

GERADOR		
Rendimento	%	96.7
Potência nominal efectiva	KW	625
Frequência	Hz	50
Tensão (em vazio)	V	400
Velocidade nominal	*r.p.m	1 500

* r.p.m – rotações por minuto

ANEXO F - Produção de energia eléctrica a partir de energias renováveis na UE

Produção de energia eléctrica a partir de energias renováveis - Comparação internacional entre países da UE 15
(Fonte : DGGE, 2010)

País	Total 2008 TWh	FER 1999 GWh	FER 2008 GWh	% FER 1999	% FER 2008	Peso (%) em 2008			
						Hídrica	Eólica	Biomassa + Biogás	Outras
Áustria	71,7	43.823	44.179	74,9	61,6	85,3	4,5	10,2	0,0
Suécia	147,7	74.953	80.296	50,8	54,4	85,7	2,5	11,9	0,0
Finlândia	89,9	21.525	26.339	26,7	29,3	65,0	1,0	34,0	0,0
Dinamarca	37,8	4.860	10.422	13,3	27,6	0,2	66,5	33,3	0,0
Portugal	55,2	8.860	14.649	21,4	26,5	46,6	39,1	12,6	1,6
Espanha	298,1	30.660	60.537	14,3	20,3	38,5	52,0	5,3	4,1
Itália	357,5	58.423	57.537	19,0	16,1	69,5	11,2	9,4	9,9
Alemanha	613,2	37.211	91.607	6,7	14,9	22,8	44,1	28,7	4,4
França	526,5	80.827	74.019	17,5	14,1	86,2	7,7	5,3	0,7
Irlanda	29,4	1.368	3.507	6,1	11,9	27,6	68,7	3,6	0,0
Holanda	123,4	4.873	9.483	4,6	7,7	1,1	44,9	53,6	0,4
Grécia	65,0	5.187	4.341	10,4	6,7	57,4	38,3	4,2	0,1
Reino Unido	401,3	13.076	22.023	3,4	5,5	22,8	32,3	44,8	0,1
Bélgica	95,1	2.703	4.436	3,2	4,7	9,2	14,0	75,8	0,9
Luxemburgo	7,9	816	265	12,6	3,4	45,7	23,0	23,8	7,5
Total UE 15	2.920	389.165	503.640	15,2	17,2	57,1	23,2	17,0	2,6
Nova Zelândia	43,8	26.747	28.124	70,2	64,2	79,3	3,8	2,0	14,9
Canadá	600,2	353.538	384.410	64,5	64,0	96,9	0,8	2,3	0,0
México	257,2	38.955	49.248	20,2	19,1	79,0	0,5	6,2	14,3
Turquia	198,3	34.930	34.330	29,5	17,3	97,0	2,3	0,4	0,3
Estados Unidos	4.387,4	389.079	431.206	9,8	9,8	70,1	12,2	13,8	4,0
Japão	1.085,2	121.972	95.906	11,4	8,8	77,4	3,0	16,7	2,9
Austrália	265,7	18.118	18.468	8,9	7,0	65,5	17,8	16,7	0,1
Coreia	443,0	6.470	4.379	2,4	1,0	70,1	8,7	15,2	6,0

Notas:

O Total 2008 corresponde à produção bruta de energia eléctrica + saldo importador.

Outras inclui geotérmica, solar, ondas e marés.

