

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DE UM ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

HELDER FILIPE CORREIA MARQUES

Mestrado em Engenharia Química
Ramo Tecnologias de Protecção Ambiental
Novembro 2008

“É autorizada a reprodução parcial desta tese apenas para efeitos de investigação”

Agradecimentos:

A todos que tornaram possível a realização deste projecto, e em especial à Dr.^a Nídia Sá Caetano pela colaboração e à minha família e amigos pelo apoio que sempre me deram.

Ninguém cometeu maior erro do que aquele que nada fez, porque apenas podia fazer um pouco.

Edmund Burke

RESUMO

Actualmente, a sociedade depara-se com um enorme desafio: a gestão dos resíduos sólidos urbanos. A sua produção tem vindo a aumentar devido à intensificação das actividades humanas nas últimas décadas. A criação de um sistema de gestão dos resíduos é fundamental para definir prioridades nas acções e metas para que haja uma prevenção na produção de resíduos.

Os resíduos sólidos urbanos quando dispostos de forma inadequada podem provocar graves impactos ambientais, tendo sido neste trabalho demonstrado que através de uma gestão eficiente destes é possível aproveitar o potencial energético do biogás e consequentemente diminuir o consumo de combustíveis fósseis reduzindo o impacto ambiental.

Os aterros sanitários devem funcionar como a última etapa do sistema de tratamento dos resíduos sólidos urbanos e são uma alternativa a ter em conta se forem tomadas todas as medidas necessárias. Estima-se que os aterros sejam responsáveis pela produção de 6-20% do metano existente e que contribuam com 3-4% da produção anual de gases efeito de estufa provenientes de actividades antropogénicas¹. É, portanto, fundamental proceder a uma impermeabilização do solo e à criação de condições para recolha do biogás produzido durante a decomposição dos resíduos.

Foi estimada a produção de biogás, de acordo com o modelo “LandGEM”, no entanto comparando esta produção com a produção medida pelo explorador, constatou-se uma diferença significativa que pode ser justificada pelo: modo de funcionamento do aterro (longos períodos de paragem); desvio dos resíduos rapidamente biodegradáveis para valorização; a existência de uma percentagem superior ao normal de oxigénio no biogás; a utilização de escórias e cinzas, e a correspondente redução da humidade devido ao compactamento exercido sobre os resíduos durante a sua deposição.

Visto tratar-se de um estudo de viabilidade económica da valorização do biogás, foram propostos três cenários para a valorização do biogás. O 1º cenário contempla a instalação de um sistema gerador de energia para comercialização junto da Rede Eléctrica Nacional. O 2º Cenário contempla a instalação de um sistema alternativo de alimentação à caldeira da central de valorização energética de forma a substituir o combustível utilizado actualmente. E o 3º Cenário vem de encontro com os resultados observados actualmente onde se verifica uma reduzida produção/recolha de biogás no aterro. Assim é proposto um sistema gerador de energia que garanta o auto-consumo da exploração do aterro (26 MWh/ano). Qualquer um dos cenários apresenta uma VAL

¹ IPCC 2001

negativa o que leva a concluir que não são viáveis.

No entanto, através da análise de sensibilidade, verificamos que estes são claramente afectados por factores como o benefício e o investimento anual, concluindo-se que com alterações nos factores de cálculo, como por exemplo, um aumento no consumo de combustível auxiliar da caldeira (2º cenário), ou com um aumento da factura eléctrica (3º cenário), ou com o aumento do tempo de retorno do investimento inicial (1º cenário), os projectos podem-se tornar viáveis.

Por fim importa referir que independentemente da valorização é fundamental continuar a eliminar a máxima quantidade de metano produzida para tentar diminuir o impacto que este tem sobre o ambiente.

Palavras-chave: Aterro sanitário, Valorização energética, Biogás, Resíduos sólidos urbanos

ABSTRACT

Nowadays, society is facing a huge challenge: the management of urban solid waste. Its production has increased due to the intensification of human activities in the last few decades. Creating A system of waste management is essential to set priorities in the actions and targets, so that there is a prevention of waste generation.

Urban solid waste, when improperly disposed, can cause serious environmental impacts, being showed in this work that through efficient management of these it is possible to make use of the energy potential of biogas and consequently reduce the use of fossil fuels by reducing the environmental impact.

Landfills should work as the last stage of the urban solid waste treatment system, and are an alternative to take into account if taken all necessary measures. It is estimated that landfills are responsible for the production of 6-20% of methane, and that contributes with 3-4% of annual production of greenhouse effect gases from anthropogenic activities². Therefore, it is essential to carry out a sealing of the soil and creating the conditions for collection of biogas produced during waste decomposition.

It was estimated the production of biogas, according to the "LandGEM" model, however comparing this production with the one measured by the farmer, there was a significant difference that can be explained by: landfill mode of operation (long stopping periods); deviation of biodegradable waste quickly to recovery; the existence of a higher than normal percentage of oxygen in the biogas; the use of slag and ash and the corresponding reduction of moisture due to close exercised over the waste during his deposition.

Being a liability study of the economic recovery of biogas, were offered three scenarios for the recovery of biogas. The 1st scenario includes the installation of a power generator system for marketing to the REN. The 2nd scenario includes the installation of an alternative system of power to the plant boiler energy recovery to replace the fuel used today. And the 3rd scenario comes from the results seen today where there is a reduced production / collection of biogas in the landfill, so it is proposed a power generator system to guarantee the self-consumption of the operation of landfill (26 MWh / year). All of the scene showed a negative NPV which leads to the conclusion that they are not viable.

However, through the sensitivity analysis, it was showed that these are clearly affected by factors such as the annual benefit and investment, concluding that with changes in the calculation of factors, such as an increase in fuel consumption of the auxiliary boiler (2nd

² IPCC 2001

scenario) , or an increase of the electric bill (3rd scenario), or with an increase of time of the initial investment (1st scenario) the projects may become viable.

Finally it should be noted that, regardless of recovery, it is essential to continue removing the maximum amount of methane produced to try to reduce the impact it has on the environment.

Key words: Landfill, energy recovery, biogas, municipal solid wastes

Índice

1. Evolução do encaminhamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	1
1.1. Erradicação das lixeiras, aparecimento dos aterros sanitários	1
1.2. Gestão de resíduos	3
2. Concepção de um aterro sanitário	7
2.1. Definição de aterro	7
2.2. Referências legais ao aterro.....	8
2.3. Condições gerais de um aterro.....	8
2.4. Licenciamento da infra-estrutura	12
3. Produção e composição do Biogás.....	15
3.1. Reacções que ocorrem num aterro após a deposição.....	15
3.2. Produção do gás de aterro	16
3.3. Duração das fases	19
3.4. Volume de gás produzido	19
3.5. Composição e Características dos gases de aterro.....	23
3.5.1. Constituintes principais do gás de aterro	23
3.6. Recolha/Drenagem de gases	24
3.7. Movimento dos principais gases de aterro.....	26
3.7.1. Migração ascendente do gás de aterro.....	26
3.7.2. Migração descendente do gás de aterro.....	27
3.7.3. Movimento dos gases vestigiais	28
3.7.4. Controlo Passivo dos gases de aterro	29
3.7.5. Controlo activo dos gases de aterro	32
3.8. Controlo de Condensados em Sistemas de recuperação de Gás.....	35
3.9. Monitorização da Qualidade Ambiental	36
4. Apresentação do modelo teórico.....	39
4.1. Modelo proposto pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [5].....	39
4.2. Modelos de Oonk & Boom (1995).....	42
4.3. Modelo GasSim.....	44
5. Tecnologias de gestão do biogás.....	47
5.1. Incineração dos gases de aterro	47
5.2. Purificação do gás de aterro.....	48
5.3. Sistemas para valorização energética do gás de aterro	49
5.3.1. Turbina a gás	49
5.3.2. Microturbinas.....	51

5.3.3. Motores de combustão interna.....	52
5.3.4. Comparação entre as diversas tecnologias de valorização	55
5.3.5. Vantagens ambientais da Recuperação Energética do biogás.....	56
6. Caso em estudo	59
6.1. Características	59
6.2. Localização	60
6.3. Modo de funcionamento e equipamentos existentes.....	62
6.4. Modelo teórico para o cálculo da produção de biogás	65
6.5. Caracterização e quantificação do biogás produzido	71
6.5.1. Caracterização do biogás	71
6.5.2. Produção real de biogás	74
6.6. Possíveis melhorias/explicações para aumentar/perceber a produção de biogás .	75
6.6.1. Optimização do sistema de recolha de biogás	75
6.6.2. Valorização dos resíduos rapidamente biodegradáveis	76
6.6.3. Percentagem de Oxigénio.....	77
6.6.4. Colocação de escórias e cinzas.....	77
6.6.5. Compactação dos resíduos.....	78
6.7. Revisão das constantes para o cálculo teórico da produção de biogás.....	78
6.8. Curvas de produção de metano e potencial energético do aterro	81
6.9. Soluções para o caso em estudo	84
7. Estudo de viabilidade económica	87
7.1. Custos inerentes ao projecto.....	87
7.1.1. Custo de aquisição equipamento	87
7.1.2. Restantes custos	88
7.1.3. Estimativa do Investimento Total	89
7.2. Fundo de Maneio	91
7.3. Amortização	91
7.4. Custos de Operação	91
7.5. Proveitos Operatórios	92
7.6. Estudo da Rendibilidade do Projecto	94
7.7. Resultado do estudo de viabilidade económica	95
8. Conclusões	97
9. Referências Consultadas	98
9.1. Bibliografia e sítios.....	98
9.2. Legislação relacionada	99
11. Anexos	100
Anexo 1 – Licença Ambiental.....	101

Anexo 2 – Instruções de trabalho referentes ao biogás.....	102
Anexo 3 – Certificado de calibração do equipamento de monitorização do biogás.....	104
Anexo 4 – Mapa do aterro com raio influência dos poços.....	106
Anexo 5 – Tabela completa com a produção de biogás e metano.....	107
Anexo 6 – Tabela completa com Potência produzida e Energia Disponível	108
Anexo 7 – Cálculo da remuneração para produtores em regime especial (PRE)	109
Anexo 8 – Catálogos dos equipamentos propostos.....	111
Anexo 9 – Cálculo do balanço económico.....	115

Índice de Figuras

Fig. 1 – Hierarquia da gestão de resíduos	4
Fig. 2 – Perspectiva de gestão dos RSU em Portugal com base nas metas legais estabelecidas (PERSU II)	5
Fig. 3 - Esquema representativo de um aterro [1]	8
Fig. 4 – Etapas generalizadas na geração de gases de aterro [4].....	16
Fig. 5 - Esquema representativo das diversas etapas [3].....	17
Fig. 6 – Representação gráfica da produção de gás [3].....	21
Fig. 7 – Efeito da redução do teor de humidade na produção de gás de aterro [3]	22
Fig. 8 – Elemento de volume de controlo para o movimento vertical do gás de aterro [3]	25
Fig. 9 – Esquema do movimento de gases vestigiais de aterro através da cobertura de um aterro [4]	28
Fig. 10 – Ventiladores usados na superfície para o controlo passivo do gás de aterro a) Ventilador de gás para aterro com uma cobertura sem geomembrana de revestimento b) Ventilador de gás para um aterro com uma cobertura que tem uma membrana sintética de revestimento. adaptado de [4].....	30
Fig. 11 – Queimador tipo candelabro para gás de resíduos, utilizado para queimar o gás de aterro procedente de um poço de ventilação ou de vários poços de ventilações interligados: (a) sem chama piloto e (b) com chama piloto. Adaptado de [4].....	30
Fig. 12 - Trincheiras de barreiras no Perímetro [4].....	31
Fig. 13 – Instalação para o controlo activo da migração de gás de aterro: poços de extracção de gás de aterro no perímetro [4]	32
Fig. 14 - Instalação para o controlo activo da migração de gás de aterro: trincheira de extracção de gás de aterro no perímetro [4]	33
Fig. 15 – Sistema de recuperação de gás de aterro usando poços verticais [4].....	34
Fig. 16 – Distribuição triangular equilátera para poços verticais de extracção de gás [4].	34

Fig. 17 – Pormenor de trincheira de extracção horizontal de gás (a) secção e (b) vista lateral [4]	35
Fig. 18 – Colectores de condensado típico: (a) o líquido é devolvido ao aterro e (b) o líquido é armazenado num tanque de retenção. [4].....	35
Fig. 19 – Possível sistema para recolha de amostras gasosas em aterros [4].....	37
Fig. 20 – Esquema representativo do funcionamento de uma turbina [9]	49
Fig. 21 - Ciclo de ar-padrão de turbina a gás regenerativa [7]	51
Fig. 22 – Microturbina baseada no ciclo Brayton aberto [6]	51
Fig. 23 - Diagrama de fluxo esquemático de um motor de combustão interna.....	52
Fig. 24 – Funcionamento do motor Diesel [6]	53
Fig. 25 – Funcionamento do motor Otto	54
Fig. 26 – Imagem aérea do aterro da Maia.....	59
Fig. 27 – Mapa de localização do Aterro Sanitário da Maia	60
Fig. 28 – Imagem das acessibilidades ao aterro (Lipor II).....	61
Fig. 29 – Planta representativa da localização dos alvéolos	61
Fig. 30 – Pormenor do alvéolo sul durante a exploração [10]	62
Fig. 31 - Compactador pés de carneiro com lâmina de arrasto [10].....	63
Fig. 32 - Planta de localização dos poços de biogás e do queimador do aterro sanitário da Maia (não se encontra à escala)	63
Fig. 33 – Pormenor da estação de regulação do caudal e da tubagem de ligação entre os poços	64
Fig. 34 – Pormenor do queimador	64
Fig. 35 – <i>Software</i> usado na modelação da produção de biogás.....	66
Fig. 36 - Ecrã de introdução de dados do <i>Software</i> LandGEM	69
Fig. 37 - Ecrã de dados assumidos no simulador	70
Fig. 38 – Distribuição da rede de recolha de biogás	75

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Ponto de situação da vida útil dos aterros e por sistemas no final de 2004 (PERSU II)	3
Tabela 2 – Requisitos mínimos a que os aterros, de cada categoria, devem obedecer [13]	9
Tabela 3 – Constituintes orgânicos do RSU rápida e lentamente biodegradáveis [3]	20
Tabela 4 – Composição típica de um gás de aterro de RSU [3]	24

Tabela 5 – Concentração medida e de saturação da fase gasosa para componentes vestigiais [4].....	29
Tabela 6 – Selantes de aterro para o controlo de movimento de gás e lixiviado [4]	31
Tabela 7 – Sistema de classificação dos aterros	39
Tabela 8 – Locais de deposição de resíduos e factor de correcção de Metano [5]	40
Tabela 9 – Componente dos resíduos e seu COD.....	40
Tabela 10 - Tipos de modelos e suas equações.....	42
Tabela 11 – Parâmetros estimados para os modelos de geração de biogás em aterro propostos por Oank & Boom (1995).....	44
Tabela 12 – Elementos de projecto importantes para os queimadores de gás de aterro selados a nível do solo [4]	48
Tabela 13 – Comparação das emissões entre as tecnologias de valorização [6].....	55
Tabela 14 – Quantidades de resíduos depositadas (ton/ano) ,	68
Tabela 15 - Simulação do metano gerado no aterro	70
Tabela 16 – Monitorização da emissão de gases do aterro [10]	71
Tabela 17 – Monitorização da emissão de gases do sistema de queima [10]	71
Tabela 18 – Monitorização do biogás do aterro da Maia - 2007	73
Tabela 19 – Caracterização dos resíduos na área de influência da Lipor (dados de 2006) [12]	79
Tabela 20 – Correspondência entre os componentes e a caracterização	79
Tabela 21 – Variação do potencial máximo de geração de Metano com a % de resíduos putrescíveis	80
Tabela 22 - Simulação do metano gerado no aterro	80
Tabela 23 – Comparação entre a Produção e a Energia disponível teórica e a Produção real monitorizada	83
Tabela 24 – Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 1	87
Tabela 25 - Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 2	88
Tabela 26 – Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 3	88
Tabela 27 – Estudo da estimativa de investimento total (1º Cenário).....	89
Tabela 28 – Estudo da estimativa de investimento total (2º Cenário).....	90
Tabela 29 – Estudo da estimativa de investimento total (3º Cenário).....	90
Tabela 30 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (1º Cenário)	91
Tabela 31 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (2º Cenário)	91
Tabela 32 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (3º Cenário)	91

Tabela 33 - Custos operatórios (1º Cenário)	91
Tabela 34 - Custos operatórios (2º Cenário)	92
Tabela 35 - Custos operatórios (3º Cenário)	92
Tabela 36 – Relação entre a Potência produzida e a receita obtida	92
Tabela 37 – Relação entre a Potência produzida e a redução no custo da factura eléctrica	93
Tabela 38 – Relação entre a Potência produzida e a redução no custo da factura eléctrica	94

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Destino final dos resíduos (dados de 1995,PERSU)	1
Gráfico 2 – Evolução do número de lixeiras entre 1996 e 2003 (PERSU II)	2
Gráfico 3 – Evolução do número e tipo de infra-estruturas de gestão de resíduos entre 1996 e 2005 (PERSU II).....	2
Gráfico 4 – Ciclo de ar-padrão ideal Brayton. [7]	50
Gráfico 6 – Eficiência térmica do ciclo de ar padrão frio Otto [7].....	54
Gráfico 9 – Variação da constituição do biogás ao longo dos meses - 2007	73
Gráfico 10 – Exemplo das linhas de produção de biogás. Divisão entre componentes rapidamente (linhas azuis) e lentamente decomponíveis (linhas vermelhas).....	76
Gráfico 11 – Exemplo da produção de Biogás. Comparação entre uma produção onde prevalecem os resíduos rapidamente biodegradáveis e outra onde prevalecem os resíduos lentamente biodegradáveis.	77
Gráfico 13 – Comparação entre os dois cenários de produção teórica de metano	81
Gráfico 14 – Potência Produzida teórica (MW/ano)	82
Gráfico 15 – Energia disponível teórica (kW/h).....	82
Gráfico 16 – Comparação entre a Energia disponível real e teórica	83
Gráfico 17 – Energia disponível e potência a instalar	84
Gráfico 18 – Estudo de sensibilidade económica do 1º cenário.....	95

1. Evolução do encaminhamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

1.1. Erradicação das lixeiras, aparecimento dos aterros sanitários

As lixeiras foram um método muito utilizado como destino final para os resíduos sólidos urbanos (RSU) pois eram a forma mais barata e fácil de os eliminar. Até ao início da década de 90, este era o principal destino dos resíduos após a sua recolha no produtor, como é possível ver no Gráfico 1.

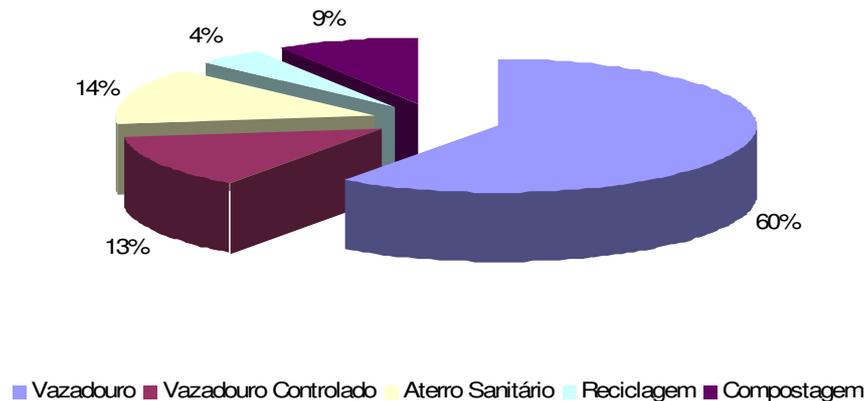


Gráfico 1 – Destino final dos resíduos (dados de 1995, PERSU)

No entanto, surgiram problemas com este tipo de “tratamento” dado aos resíduos, tais como explosões, infiltrações de produtos lixiviados no subsolo, maus cheiros, aparecimento de animais atraídos pelo lixo, etc. Todas estas condicionantes e a conjugação com a oportunidade criada pela adesão de Portugal à Comunidade Europeia, levaram ao aparecimento dos Aterros Sanitários (AS) ou Estações de Confinamento Técnico de Resíduos Urbanos (ECTRU) que permitiram uma gradual erradicação das lixeiras. Para isto contribuiu decisivamente a legislação comunitária, nacional e, em especial, o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I) estabelecendo metas desde 1997 até 2007. Findado este período o PERSU I deu origem ao, novo plano estratégico com metas ainda mais ambiciosas para cumprir até 2017 (PERSU II). Também neste é feito um apanhado da situação actual no que diz respeito aos resíduos sólidos urbanos. No gráfico seguinte é possível observar a evolução do número de lixeiras desde 1996 até 2003, sendo que oficialmente estas foram encerradas em Janeiro de 2002 (ver Gráfico 2).

A par da erradicação das lixeiras, assistiu-se, nestes últimos anos, a um aumento nas infra-estruturas de gestão de resíduos, nomeadamente, aterro sanitário, estações de transferência e centrais de triagem (Gráfico 3).

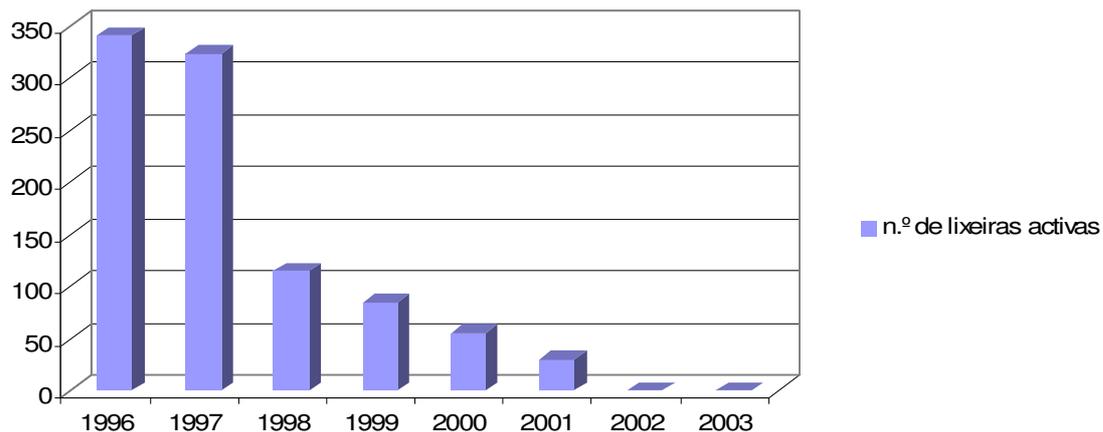


Gráfico 2 – Evolução do número de lixeiras entre 1996 e 2003 (PERSU II)

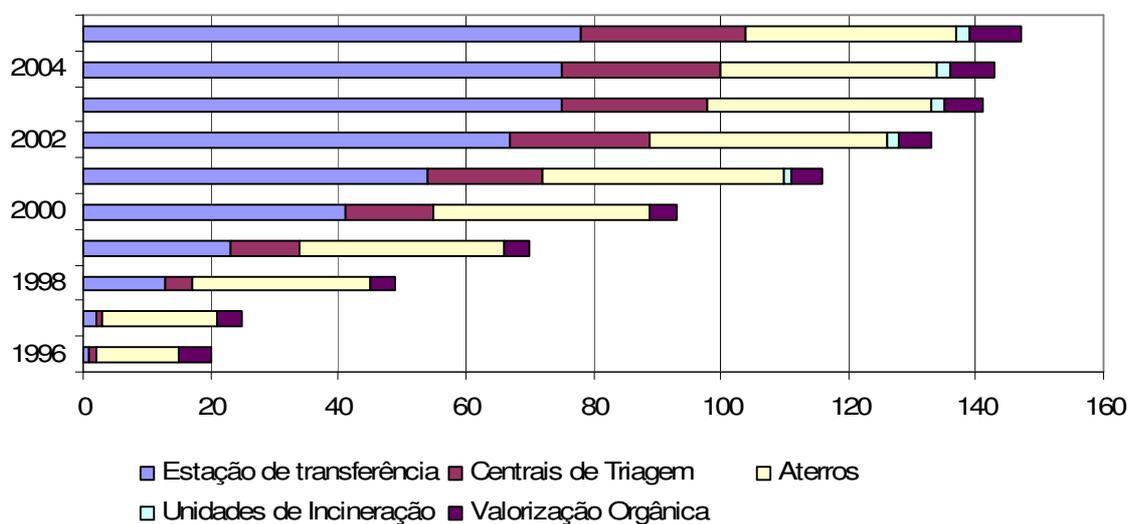


Gráfico 3 – Evolução do número e tipo de infra-estruturas de gestão de resíduos entre 1996 e 2005 (PERSU II)

Relativamente aos aterros sanitários, infra-estruturas construídas para erradicação das lixeiras, a sua vida útil até há pouco tempo, era muito reduzida, o que é evidenciado na Tabela 1.

Tabela 1 – Ponto de situação da vida útil dos aterros e por sistemas no final de 2004 (PERSU II)

Vida Útil (anos)	Sistemas Multimunicipais	Sistemas Intermunicipais	Total de aterros
0		AMAVE (Santo Tirso e Guimarães), AMTRES (...)	3
2 a 4	SULDOURO, VALORLIS, ERSUC (Aveiro e Figueira da Foz), ÁGUAS DO ZÉZERE E COA	VALE DO SOUSA (Penafiel)	6
> 4	VALORMINHO, RESULTIMA, BRAVAL, RESAT, REBAT, VALNOR, ERSUC (Coimbra), RESIOESTE, AMARSUL (Seixal e Palmela), VALORSUL, RESIDOURO, ALGAR (Loulé e Portimão)	LIPOR, VALE DO DOURO NORTE, RESÍDUOS DO NORDE, PLANALTO BEIRÃO, VALE DO SOUSA (Lousada), RAIA/PINHAL, RESIURB, RESITEJO, AMARTEJO, AMDE, AMCAL, AMAGRA, AMALGA	27

nota: Os aterros dos sistemas AMAVE e AMTRES encontram-se encerrados; o aterro de Trajouce já foi selado

Não sendo concebível que as soluções outrora frequentes de colocar os resíduos de uma forma incontrolada a céu aberto, em lixeiras, nos cursos de água ou nos mares, causando desequilíbrios ecológicos graves nos ecossistemas possam continuar a ser praticadas, também não é concebível que se construa uma infra-estrutura para receber resíduos que tenha um tempo de vida tão curto. Por isso tem sido desenvolvido toda uma estratégia nacional para melhorar a gestão dos resíduos.

1.2. Gestão de resíduos

Actualmente, o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, estabelece o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro.

O Decreto-Lei evidencia a necessidade de minimizar a produção de resíduos e de assegurar a sua gestão sustentável, transformando-se cada vez mais numa questão de cidadania. Deste destaca-se a necessidade de serem criados instrumentos municipais de gestão de resíduos que permitam concretizar a elaboração dos planos de gestão de resíduos, a reformadora introdução de mecanismos de constante adaptação das licenças às inovações tecnológicas que sempre surgem com rapidez neste sector e de mecanismos de resposta a efeitos negativos para o ambiente que não tenham sido previstos na fase de licenciamento, bem como a introdução de procedimentos que visam acompanhar as vicissitudes da actividade de gestão de resíduos, como sejam as da transmissão, alteração e renovação das licenças. Também, é de salientar que este não se limita à introdução de aperfeiçoamentos ao regime legal até agora em vigor, pretendendo-se que introduza instrumentos novos no ordenamento jurídico português, desde logo aqueles que se prendem com uma melhor administração da informação em matéria de gestão dos resíduos, não descorando o novo regime económico e financeiro. Assim, uma correcta e bem planeada política de gestão dos resíduos contribui para a conservação

dos recursos naturais e para a protecção da qualidade do ambiente, permitindo a valorização dos resíduos e contribuindo igualmente, de uma forma eficaz, para o desenvolvimento sustentável.

De referir também o artigo 7º onde são enumerados os princípios da hierarquia das operações de gestão de resíduos que são os seguintes:

- A gestão de resíduos deve assegurar que à utilização de um bem sucede uma nova utilização ou que, não sendo viável a sua reutilização, se procede à sua reciclagem ou ainda a outras formas de valorização;

- A eliminação definitiva de resíduos, nomeadamente a sua deposição em aterro, constitui a última opção de gestão, justificando-se apenas quando seja técnica ou financeiramente inviável a prevenção, a reutilização, a reciclagem ou outras formas de valorização;

- Os produtores de resíduos devem proceder à separação dos resíduos na origem de forma a promover a sua valorização por fluxos e fileiras;

- Deve ser privilegiado o recurso às melhores tecnologias disponíveis com custos economicamente sustentáveis que permitam o prolongamento do ciclo de vida dos materiais através da sua reutilização, em conformidade com as estratégias complementares adoptadas noutros domínios.

No panorama actual também é imprescindível falar do Decreto-Lei nº 152/2002, que legisla a deposição de resíduos em aterros, (instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados a resíduos).

A colocação dos resíduos em aterro é assim o último estágio do sistema global de gestão, tratamento e valorização de resíduos. Uma infra-estrutura imprescindível para fechar o ciclo de gestão integrada, pensada e executada para valorizar a vida e o meio ambiente. A redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos são objectivos prioritários das modernas políticas de gestão de resíduos, contudo, no final do esforço para cumprir estes objectivos há que dar destino aos resíduos que não puderam ser valorizados através da reciclagem multimaterial e orgânica ou da valorização energética.



Fig. 1 – Hierarquia da gestão de resíduos

Na Fig. 2 Estabelece-se um cenário para a gestão dos RSU em Portugal até 2016, levando em consideração a legislação nacional e da União Europeia, sendo patente a

necessidade de se levar à prática ambiciosas políticas nos domínios da disposição final de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) em aterros e da valorização das embalagens. A limitação legal de disposição de RUB em aterros a partir de 2006 (em consonância com a Directiva nº 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril e com o Decreto-Lei nº 152/2002, de 23 de Maio), como mostra a Fig. 2, obriga a crescentes desvios da matéria orgânica biodegradável (MOB) para a valorização biológica.

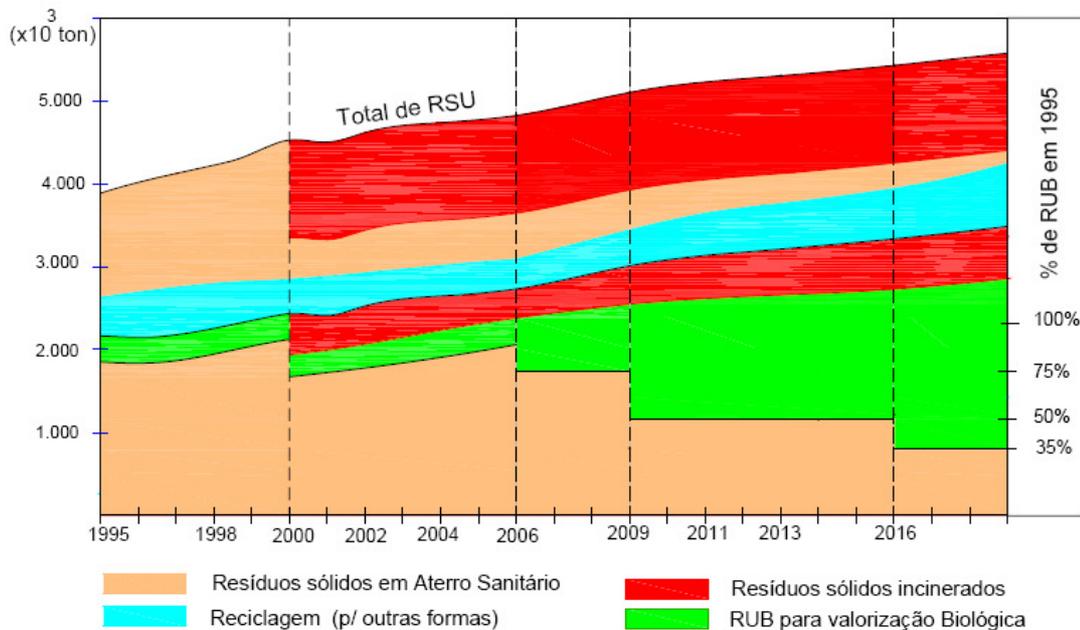


Fig. 2 – Perspectiva de gestão dos RSU em Portugal com base nas metas legais estabelecidas (PERSU II)

Neste enquadramento também é referido no mesmo DL no artigo 7º, ponto 2, as metas da estratégia nacional para a redução dos resíduos urbanos biodegradáveis destinados aos aterros (ENRRUBDA):

- Até Janeiro de 2006, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterros devem ser reduzidos para 75% da quantidade total, em peso, dos RUB produzidos em 1995;
- Até Janeiro de 2009 os RUB destinados a aterros devem ser reduzidos para 50% da quantidade total, em peso, dos RUB produzidos em 1995;
- Até Janeiro de 2016, os RUB destinados a aterros devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos RUB produzidos em 1995.

Utilizando para isto uma estratégia que assenta em três acções (PERSU II):

- Redução na Fonte (intervenção ao nível dos processos de fabrico e compostagem em pequena escala);
- Recolha selectiva de matéria orgânica;

-
- Valorização orgânica (processos aeróbios, anaeróbios e com pré-tratamento mecânico).

Removendo os RUB, o aterro sanitário nestas circunstâncias, aproxima-se do aterro de "inertes", sem as emissões poluentes características dos aterros convencionais.

2. Concepção de um aterro sanitário

2.1. Definição de aterro

Segundo a legislação europeia, e de acordo com a definição do Decreto-Lei nº 152/2002, “aterro” é uma instalação de eliminação para a disposição de resíduos acima ou abaixo da superfície natural (isto é, disposição subterrânea), incluindo:

- As instalações de eliminação internas (isto é, os aterros onde o produtor de resíduos efectua a sua própria eliminação de resíduos no local da produção);
- Uma instalação permanente (isto é, por um período superior a um ano), usada para armazenagem temporária.

Desta definição excluem-se:

- Instalações onde são descarregados resíduos com o objectivo de os preparar para serem transportados para outro local de valorização, tratamento ou eliminação;
- A armazenagem de resíduos previamente à sua valorização ou tratamento, por um período geralmente inferior a três anos;
- A armazenagem de resíduos previamente à sua eliminação, por um período inferior a um ano.

Por sua vez, os aterros sanitários (AS) são classificados numa das seguintes classes:

- Aterros para resíduos perigosos;
- Aterros para resíduos não perigosos (onde se incluem os RSU);
- Aterros para resíduos inertes.

Com o objectivo de limitar, tanto quanto possível, os efeitos negativos sobre o ambiente, pode considerar-se um aterro sanitário como um sistema de barreiras sucessivas para o qual devem ser definidas fronteiras onde se especificam restrições a que o mesmo deve obedecer.

Na Fig. 3 apresenta-se um esquema representativo de um aterro modelo.

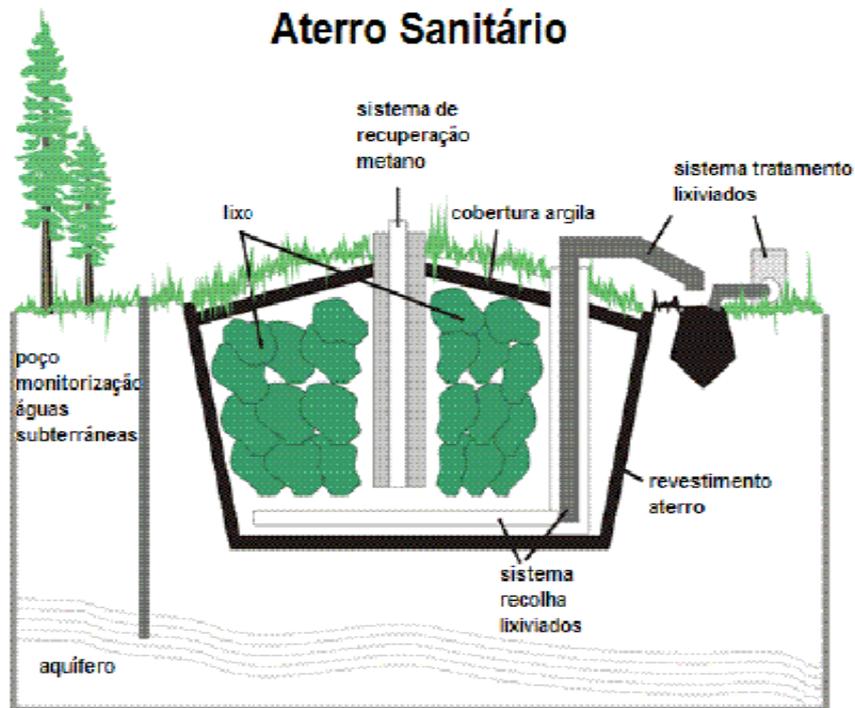


Fig. 3 - Esquema representativo de um aterro [1]

2.2. Referências legais ao aterro

Como referido anteriormente aterro é, por definição segundo o artigo 2.º i) do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 5 de Setembro, “uma instalação de eliminação utilizada para a deposição de resíduos acima ou abaixo da superfície natural”.

A eliminação de resíduos por aterro é uma operação de gestão dos resíduos consagrada na alínea j) do artigo 3.º do Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro. O direito interno encerra no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio a legislação específica para a concepção, operação e manutenção pós-encerramento de um aterro, tendo este sido transposto da Directiva nº 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril. Assim esta legislação obriga a prever medidas, processos e orientações que evitem ou reduzam, tanto quanto possível os efeitos negativos sobre o ambiente, em especial a poluição das águas de superfície, das águas subterrâneas, do solo e da atmosfera, bem como os riscos desses efeitos para a saúde humana, resultantes da deposição de resíduos em aterro.

2.3. Condições gerais de um aterro

Os aterros devem ser concebidos de forma a obedecer às condições necessárias para evitar a poluição do solo, das águas subterrâneas, das águas superficiais ou da

atmosfera e para proporcionar em tempo útil, uma recolha eficaz dos lixiviados. Para isto deve-se considerar³:

- Distâncias do perímetro do local em relação a áreas residenciais e recreativas, cursos de água, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas;
- Existência de águas subterrâneas ou costeiras, ou de áreas protegidas;
- Condições geológicas e hidrogeológicas;
- Riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou de avalanches;
- Protecção do património natural e cultural.

Os aterros, em função da correspondente categoria, devem obedecer aos requisitos mínimos apresentados na seguinte tabela.

Tabela 2 – Requisitos mínimos a que os aterros, de cada categoria, devem obedecer [13]

Categoria do aterro	Resíduos inertes	Resíduos não perigosos	Resíduos perigosos
Sistema de protecção ambiental passiva:			
Barreira de segurança passiva	Sim	Sim	Sim.
Sistema de protecção ambiental activa:			
Barreira de impermeabilização artificial		Sim	Sim.
Sistema de drenagem de águas pluviais		Sim	Sim.
Sistema de drenagem e recolha de lixiviados		Sim	Sim.
Sistema de drenagem e tratamento de biogás		(*)	(*)
Sistema de encerramento:			
Camada de drenagem de gases		(*)	(*)
Barreira de impermeabilização artificial			Sim.
Camada mineral impermeável		Sim	Sim.
Camada de drenagem > 0,5 m		Sim	Sim.
Cobertura final com material terroso > 1 m	Sim	Sim	Sim.
Instalações e infra-estruturas de apoio:			
Vedação	Sim	Sim	Sim.
Portão	Sim	Sim	Sim.
Vias de circulação	Sim	Sim	Sim.
Queimador de biogás		(*)	(*)

(*) A definir em função do tipo de resíduos admitidos no aterro.

A protecção do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais deve ser assegurada utilizando sistemas de protecção passiva e activa:

2.3.1. Sistema de protecção ambiental passiva (DL 152/2002, Anexo II, ponto 2.1)

A camada de solo subjacente ao aterro deve constituir uma barreira de segurança passiva durante a fase de exploração e até completa estabilização dos resíduos devendo garantir, tanto quanto possível, a prevenção da poluição dos solos, das águas subterrâneas e de superfície pelos resíduos e lixiviados. A barreira de segurança passiva deve ser constituída por material de baixa permeabilidade e espessura adequada, de acordo com as especificações seguintes:

³ Referência: DL 152/2002, Anexo II, ponto 1

- **Exigências relativas à barreira de segurança passiva** – a barreira geológica é determinada pelas condições geológicas e hidrogeológicas inferiores e adjacentes ao local de implementação do aterro, das quais resulte um efeito atenuador suficiente para impedir qualquer potencial risco para o solo e as águas subterrâneas. A base e os taludes do aterro devem consistir numa camada mineral que satisfaça as condições de permeabilidade e espessura de efeito combinado, em termos de protecção do solo e das águas subterrâneas e de superfície, pelo menos equivalente à que resulta das seguintes condições (em que K , e , m e s correspondem respectivamente, a permeabilidade, espessura, metros e segundos):

- Aterros para resíduos perigosos

$$K \leq 10^{-9} \text{ m/s}; e \geq 5\text{m}$$

- Aterros para resíduos não perigosos

$$K \leq 10^{-9} \text{ m/s}; e \geq 1\text{m}$$

- Aterros para resíduos inertes

$$K \leq 10^{-7} \text{ m/s}; e \geq 1\text{m}$$

- **Reforço da barreira de segurança passiva** – no caso de a barreira geológica não oferecer naturalmente as condições atrás descritas, poderá a mesma ser complementada artificialmente e reforçada por outros meios que assegurem uma protecção equivalente. As barreiras artificialmente criadas não poderão ser de espessura inferior a 0,5 m.

2.3.2. Sistema de protecção ambiental activa (DL 152/2002, Anexo II, ponto 2.2)

Para além do descrito anteriormente os aterros destinados a resíduos perigosos e não perigosos, deverão ser providos de um sistema de protecção ambiental activa que deverá assegurar as seguintes funções:

- Controlar a infiltração no aterro das águas de precipitação;
- Evitar a infiltração de águas superficiais e ou subterrâneas nos resíduos depositados;
- Captar águas contaminadas e lixiviados, garantindo que a acumulação de lixiviados no fundo do aterro se mantenha a um nível mínimo;
- Tratar as águas contaminadas e lixiviados captados do aterro segundo as normas exigidas para a sua descarga;
- Captar, tratar e, se possível, valorizar o biogás produzido.

O sistema de protecção ambiental activa deve ser constituído por:

- Uma barreira de impermeabilização artificial (constituída por uma geomembrana ou dispositivo equivalente);
- Um sistema de drenagem de águas pluviais;
- Um sistema de drenagem e recolha de lixiviados;
- Um sistema de drenagem e tratamento de biogás.

Os sistemas de drenagem de águas pluviais e de drenagem e recolha de lixiviados deverão ser dimensionados tendo em conta as características do aterro e as condições meteorológicas locais.

- **Sistema de drenagem de águas pluviais** – o sistema de drenagem de águas pluviais deverá ser dimensionado de modo a evitar a formação desnecessária de lixiviados e a minimizar a ocorrência de fenómenos erosivos ao nível dos taludes do aterro. Este sistema deverá incluir valetas, estrategicamente colocadas, de modo a assegurar o cumprimento da função a que se destinam. Deverá igualmente prever-se a instalação, no sistema de encerramento, de uma camada de drenagem de águas pluviais.

- **Sistema de drenagem e recolha de lixiviados** – o sistema de drenagem e recolha de lixiviados deverá ser dimensionado de modo a assegurar a sua rápida remoção do aterro, controlando assim a altura de líquido sobre o sistema de revestimento e minimizando o risco de infiltração de lixiviados no solo subjacente ao aterro causado por uma carga hidráulica excessiva. Este sistema deverá obedecer, entre outras, às seguintes características:

- O fundo do aterro deverá ter uma inclinação mínima de 2% em toda a área;
- A camada drenante deverá apresentar um valor de permeabilidade hidráulica igual ou superior a 10^{-4} m/s.
- A camada mineral drenante deverá apresentar uma espessura mínima de 0,5 m e ser isenta de matéria calcária.

Os lixiviados recolhidos deverão ter um tratamento e destino final adequado, de acordo com a legislação em vigor. Devem igualmente ser adoptados os procedimentos indicados no DL 152/2002, Anexo IV). As unidades de tratamento dos lixiviados deverão possuir os órgãos necessários para permitir a interrupção do seu funcionamento para manutenção e avarias. A capacidade destes órgãos deverá, cumulativamente, ser suficiente para absorver a afluência de lixiviados associados a condições pluviométricas excepcionais típicas do local em causa.

- **Sistema de drenagem e tratamento de biogás** – o biogás produzido pelos aterros que recebem resíduos biodegradáveis deverá ser captado, tratado e utilizado de forma a reduzir ao mínimo os efeitos negativos ou deterioração do ambiente e os riscos para a saúde humana. Caso os gases captados não possam ser utilizados para a produção de energia, deverão ser queimados num facho.

Devendo igualmente ser adoptados os procedimentos de acompanhamento e controlo de potenciais emissões gasosas indicadas no Anexo IV, parte I, ponto 6 onde se refere que: caso seja necessário, deverão ser tomadas as medidas adequadas para o controlo dos gases de aterro. O teor de Metano, Oxigénio e Dióxido de Carbono dos gases de aterro deve ser medido mensalmente. Os pontos onde deverão ser realizadas as medições deverão ser especificadas no projecto do aterro. Os resultados das medições deverão ser informatizados e constar do relatório anual que o operador deverá enviar às autoridades competentes, podendo esta alterar a lista dos parâmetros das análises a efectuar e/ou a sua frequência.

Para além das condições indicadas anteriormente existem factores como a estabilidade que requerem cuidados a ter durante a deposição de resíduos para evitar deslizamentos, os equipamentos, instalações e infra-estruturas de apoio que permitam uma adequada exploração, reduzindo ao mínimo os efeitos para o ambiente provocados pela exploração do aterro e também os cuidados a ter durante o encerramento e integração paisagística, diminuindo assim os impactos provocados pelo aterro durante as diversas fases de vida.

2.4. Licenciamento da infra-estrutura

Segundo o DL 178/2006 de 5 de Setembro, as operações de gestão de resíduos estão sujeitas a um procedimento administrativo célere de controlo prévio, que se conclui com a emissão de uma licença, e sobretudo, a procedimentos administrativos que asseguram uma efectiva monitorização da actividade desenvolvida após esse licenciamento.

Assim, apesar da deposição de resíduos em aterro não estar sujeita ao regime de licenciamento previsto no Decreto-Lei referido anteriormente, está previsto no DL 152/2002 de 23 de Maio todo o procedimento para o devido licenciamento, neste caso temos que dividir o licenciamento em duas partes:

- Licenciamento de instalação;

- Licenciamento de exploração.

2.4.1. Licença de instalação (DL 152/2002, Secção III)

Todo o processo de licenciamento desencadeia-se com o pedido de licença dirigido à entidade competente, elaborado com base no disposto no anexo I do referido DL.

No caso de aterros sujeitos ao regime jurídico da avaliação de impacto ambiental, do DL 69/2000 de 3 de Maio⁴ é sempre acompanhado de uma declaração de impacto ambiental (DIA).

No caso de aterros sujeitos ao regime de prevenção e controlo integrado de poluição nos termos do DL 194/2000 de 21 de Agosto⁵, e para efeitos da prévia concessão da licença ambiental aí prevista, o pedido de licença de instalação deve ser acompanhado do pedido de licença ambiental (ver anexo 1).

Assim, no caso em estudo a licença de instalação só pode ser atribuída após emissão da licença ambiental, a qual deve constituir parte integrante da licença de instalação (Art. 12^a)

2.4.2. Licença de exploração (DL 152/2002, Secção IV)

Todo o procedimento se inicia com uma vistoria para que seja verificada a conformidade de todo o projecto até ao momento. É a partir deste ponto que se faz o pedido de licença de exploração, que deve conter os seguintes pontos:

- A classificação do aterro;
- A lista dos resíduos admissíveis e o volume total de encaixe autorizado no aterro;
- As condições referentes à preparação dos aterros, deposição, acompanhamento e controlo do mesmo. Não esquecendo o plano de emergência, nem os requisitos relativos às operações de encerramento e de gestão posterior;
- Apresentação periódica de relatórios contendo informações sobre os tipos, quantidades e proveniência de resíduos depositados.

⁴ Artigo 1º, n.º 2 – Estão sujeitos a avaliação de impacto ambiental, nos termos previstos os projectos indicados nos anexos I e II. Anexo I, n.º 9 Instalações destinadas à incineração, valorização energética, tratamento químico ou aterros de resíduos perigosos.

⁵ Artigo 1º, n.º 2 – Para todos os efeitos, todas as instalações, unidade fixa na qual são desenvolvidas uma ou mais actividades constantes do anexo I, estão sujeitas a licença ambiental a conceder nos termos do procedimento ora instituído. Anexo I, 5.4 – Aterro de resíduos urbanos ou de outros resíduos não perigosos ...

3. Produção e composição do Biogás

3.1. Reacções que ocorrem num aterro após a deposição

Os resíduos sólidos colocados num aterro sofrem um conjunto de transformações biológicas, químicas e físicas simultâneas e relacionadas.

Reacções Químicas

As reacções químicas mais importantes que ocorrem num aterro incluem a dissolução e suspensão de matérias de aterro e produtos de conversão biológica no líquido que se desloca através do resíduo, evaporação e vaporização de compostos químicos e de água para o gás de aterro, sorção de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis no material depositado em aterro, deshalogenação e decomposição de compostos orgânicos e reacções de oxidação-redução que afectam os metais e a solubilidade dos seus sais. A dissolução de produtos de conversão biológica e outros compostos, particularmente os orgânicos, para o lixiviado tem uma importância essencial porque estes materiais podem ser transportados para fora do aterro com o lixiviado. Estes compostos orgânicos podem seguidamente ser libertados para a atmosfera através do solo (para o qual o lixiviado se deslocou proveniente de um aterro não ou deficientemente revestido) ou de estações de tratamento de lixiviados abertas. Outras reacções químicas importantes incluem as que se dão entre alguns compostos orgânicos e revestimentos de argila e que podem alterar a estrutura e permeabilidade do material de revestimento. As inter relações destas reacções químicas num aterro ainda não são bem compreendidas. [3]

Reacções Físicas

Algumas das mais importantes alterações físicas que ocorrem num aterro são a difusão lateral dos gases e a sua emissão para o ambiente circundante (particularmente importante na gestão do aterro), movimento de lixiviados no aterro e para os solos abaixo, e assentamentos provocados pela consolidação e decomposição do material depositado no aterro.

O gás produzido no aterro pode originar um aumento de pressão, originando uma quebra na cobertura e fuga para a atmosfera. A água que entra no aterro através do orifício da cobertura pode potenciar a produção de gás, fazendo aumentar ainda mais a deterioração da cobertura. [3]

O gás que escapa pode conter vestígios de compostos cancerígenos e teratogénicos. Como o gás de aterro é geralmente rico em metano, pode ocorrer risco de combustão e/ou explosão. A migração dos lixiviados constitui outra causa de preocupação uma vez que, migrando os lixiviados para baixo pode transferir compostos e materiais para outros

locais onde estes possam reagir mais rapidamente. O lixiviado ocupa os poros no aterro e, deste modo pode interferir com a migração do gás de aterro.

Reacções Biológicas

As reacções mais importantes que ocorrem num aterro são as que envolvem a matéria orgânica dos RSU que originam a evolução dos gases de aterro e, eventualmente, dos líquidos. O processo de decomposição biológica dá-se geralmente aerobiamente durante um curto período, imediatamente após a deposição do resíduo até que o oxigénio inicialmente presente seja consumido. Durante a decomposição aeróbia, o principal gás produzido é o CO_2 . Quando o oxigénio disponível já foi consumido, a decomposição passa a ser anaeróbia e a matéria orgânica é então convertida a CO_2 , CH_4 e vestígios de NH_3 e H_2S . Muitas outras reacções biológicas dão-se também. É difícil definir as condições que existirão num aterro em qualquer momento, devido ao grande número de influências e inter-relações. [3]

3.2. Produção do gás de aterro

A geração dos principais gases de aterro, a variação da sua velocidade de geração com o tempo e as fontes de gases vestigiais nos aterros são consideradas de seguida.

Pensa-se que a geração dos principais gases de aterro ocorre em cinco etapas mais ou menos sequenciais, tal como ilustrado na Fig. 4. Cada uma das etapas é descrita sucintamente de seguida. [3]

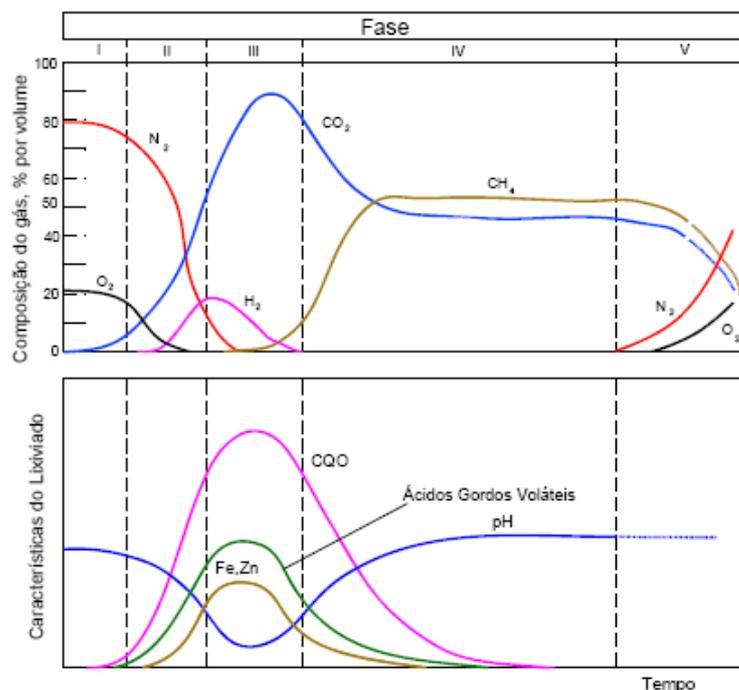


Fig. 4 – Etapas generalizadas na geração de gases de aterro [4]

Etapa I – Fase de adaptação inicial. Nesta fase, os constituintes orgânicos biodegradáveis dos RSU sofrem uma decomposição microbiana à medida que são colocados no aterro e por um curto período. Nesta fase, a decomposição biológica ocorre em condições aeróbias, porque uma pequena quantidade de ar fica retida no aterro. A principal fonte de organismos aeróbios e anaeróbios responsáveis pela decomposição do resíduo é o solo usado como camada de cobertura diária e final. Outras fontes de organismos são as lamas digeridas de ETAR depositadas em muitos aterros e os lixiviados reciclados.

Etapa II – Fase de transição. Nesta fase, o oxigênio foi consumido e as condições anaeróbias começam-se a desenvolver. À medida que o aterro se torna anaeróbio, os nitratos e sulfatos, que podem servir como aceitadores de elétrons em reações de conversão biológica, são frequentemente reduzidos a azoto e sulfureto de hidrogênio. O verdadeiro início das condições anaeróbias pode ser monitorizado pela medição do potencial de oxidação/redução do resíduo. As condições suficientes para a redução do nitrato e sulfato ocorrem a cerca de -50 a -100 mV. À medida que o potencial de oxidação/redução diminui, membros da comunidade microbiana responsável pela conversão do material orgânico do RSU a metano e dióxido de Carbono iniciam o processo em três etapas (Fig. 5).

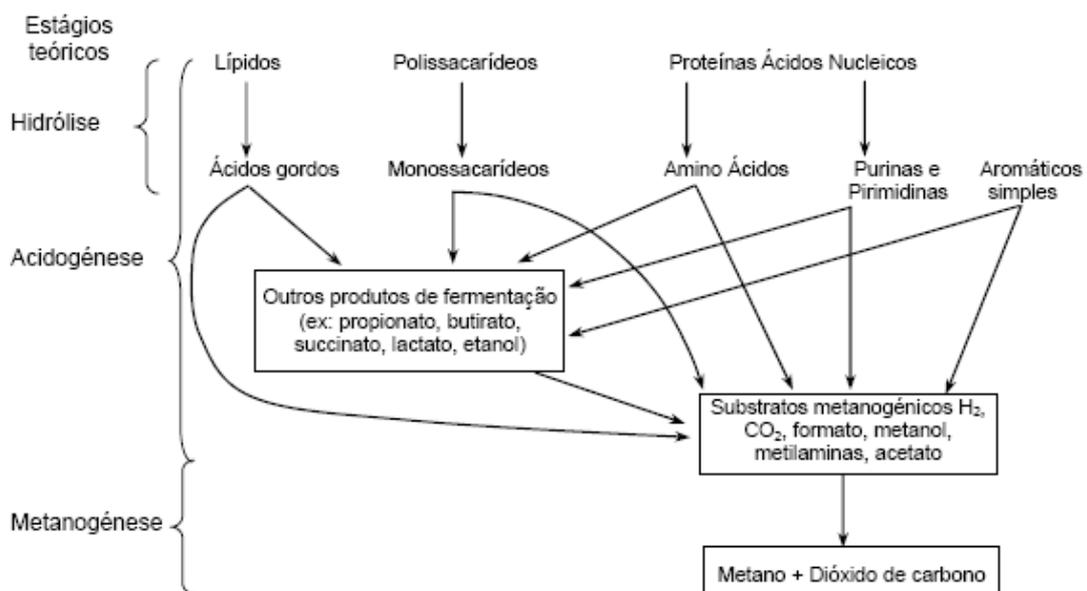


Fig. 5 - Esquema representativo das diversas etapas [3]

Etapa III – Fase acidogénica. Nesta fase, a actividade microbiana iniciada na fase anterior acelera-se com a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e menores quantidades de hidrogénio gasoso. O primeiro passo, no processo em três passos, envolve a transformação mediada por enzimas (hidrólise) dos compostos de maior massa molecular (ex. lípidos, polissacádeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos adequados ao uso pelos microrganismos como fonte de energia e carbono celular. O segundo passo (acidogénese) envolve a conversão microbiana dos compostos resultantes do primeiro passo a compostos intermediários de menor massa molecular tal como o ácido acético (CH_3COOH) e a pequenas quantidades de ácidos fúlvico e outros ácidos orgânicos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado nesta fase, embora também se produzam pequenas quantidades de H_2 . Os microrganismos envolvidos nesta conversão, descritos colectivamente como não metanogénicos, consistem em bactérias anaeróbias facultativas e obrigatórias. Estes microrganismos são frequentemente identificados na literatura como acidogénios ou formadores de ácidos.

O pH do lixiviado, quando formado, cairá frequentemente para um valor de 5 ou menos devido à presença de ácidos orgânicos e às elevadas concentrações de CO_2 no aterro. A carência bioquímica de oxigénio (CBO_5), a carência química de oxigénio (CQO) e a condutividade do lixiviado aumentarão significativamente durante esta fase, devido à dissolução dos ácidos orgânicos no lixiviado. Também devido ao baixo pH do lixiviado, alguns constituintes inorgânicos, sobretudo metais pesados, são solubilizados nesta fase. Se o lixiviado não for reciclado, os nutrientes essenciais serão perdidos. No entanto, deve-se salientar que se não se formarem lixiviados nesta fase, os produtos de conversão originados nesta fase permanecerão no aterro como constituintes adsorvidos e na água retida pelo resíduo tal como definido pela capacidade de campo.

Etapa IV – Fase metanogénica. Nesta fase um segundo grupo de microrganismos, que convertem o ácido acético e hidrogénio formados pelos formadores de ácidos na fase ácida a CH_4 e CO_2 , torna-se mais predominante. Em alguns casos estes organismos começam-se a desenvolver no fim da etapa III. Os microrganismos responsáveis por esta conversão são estritamente anaeróbios, sendo denominados metanogénicas. Colectivamente são identificados na literatura como metanogénicos ou formadores de metano. Nesta fase, a produção de metano e ácido processa-se simultaneamente,

embora a velocidade de formação do ácido seja consideravelmente reduzida.

Como os ácidos e o hidrogénio produzidos pelos formadores de ácido foram convertidos a CH_4 e CO_2 nesta fase, o pH no aterro irá subir para valores mais neutros (6,8 a 8). Por sua vez, o pH do lixiviado, se formado, irá também subir e a concentração de CBO_5 e CQO e a condutividade de lixiviado serão reduzidas. Com valores de pH superiores, menos constituintes inorgânicos permanecerão em solução; conseqüentemente, a concentração de metais pesados presentes no lixiviado será reduzida.

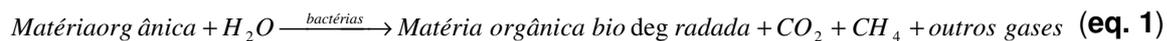
Etapa V – Fase de maturação. Esta fase ocorre após a conversão do material orgânico biodegradável imediatamente disponível a CH_4 e CO_2 , na fase anterior. À medida que a humidade migra através do resíduo, partes de material biodegradável que antes não estavam disponíveis, serão convertidas. A velocidade de geração de gás de aterro é reduzida significativamente porque a maior parte dos nutrientes foi removida com o lixiviado durante as fases anteriores e os substratos que permanecem no aterro são biodegradados lentamente. Os principais gases de aterro envolvidos nesta etapa são o CH_4 e CO_2 . Dependendo das medidas de encerramento, também podem ser encontradas pequenas quantidades de azoto e oxigénio no gás de aterro. Durante a fase de maturação, o lixiviado contém frequentemente ácido húmico e fúlvico, cujo posterior processamento biológico é difícil.

3.3. Duração das fases

A duração das fases depende da distribuição dos compostos orgânicos no aterro, da disponibilidade de nutrientes, do teor de humidade de resíduo, da percolação da humidade através do mesmo e do grau de compactação inicial. Uma prática recente em Portugal consiste no enfardamento prévio dos resíduos, permitindo aumentar a vida útil e reduzir os impactes resultantes da construção dos aterros. Estas vantagens poderão ser contrariadas pela redução da taxa de bioconversão do resíduo, originada pela menor acessibilidade da água, indispensável à ocorrência das reacções no aterro [3].

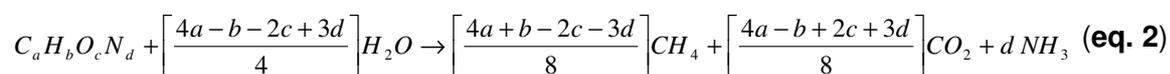
3.4. Volume de gás produzido

A equação generalizada para a decomposição dos resíduos sólidos pode ser escrita da seguinte forma (eq. 1):



É de salientar que esta reacção exige a presença de água. Os aterros que têm falta de humidade permanecem num estado “mumificado”. No entanto, embora a quantidade total de gás que é produzido a partir do resíduo sólido derive directamente da estequiometria da reacção, as condições hidrogeológicas locais afectam significativamente a velocidade e o período de tempo durante o qual a produção de gás ocorre.

O volume de gases libertados durante a decomposição anaeróbia pode ser estimado de diversas formas. Por exemplo, se os constituintes dos RSU (excepto plástico) forem representados por uma fórmula genérica $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$, o volume total de gás pode ser estimado usando a equação (eq. 2), assumindo a conversão completa do resíduo orgânico biodegradável a CO_2 e CH_4 .



Geralmente, os materiais orgânicos presentes nos resíduos sólidos podem ser divididos em duas classes: os materiais que se decompõem rapidamente (três meses a 5 anos) e os materiais que se decompõem lentamente (até 50 anos ou mais). Na Tabela 3 é feita a identificação destes materiais.

Tabela 3 – Constituintes orgânicos do RSU rápida e lentamente biodegradáveis [3]

Constituinte residual orgânico	Rapidamente Biodegradáveis	Lentamente Biodegradáveis
Restos de comida	x	
Papel de jornal	x	
Papel de escrita	x	
Cartão	x	
Plástico ^a		
Têxteis		x
Borracha		x
Pele		x
Restos de Jardim	x ^b	x ^c
Madeira		x
Orgânicos misturados	-	x

^a Os plásticos são considerados não biodegradáveis

^b Folhas e aparas de relva. Tipicamente 60% dos resíduos de jardim são rapidamente biodegradáveis

^c Partes lenhosas dos resíduos de jardim

Um procedimento que se pode usar para estimar a quantidade de gás que pode ser produzido a partir da fracção biodegradável do resíduo orgânico do RSU é o seguinte:

- Determinar a composição elementar do resíduo sólido, separando os constituintes rapidamente dos lentamente biodegradáveis;
- Determinar a composição elementar desprezando a cinza;
- Determinar uma fórmula molecular (sem enxofre) para o resíduo rapidamente biodegradável e outra para o resíduo lentamente biodegradável;
- Estimar a quantidade de gás que pode ser produzido a partir dos constituintes rápida e lentamente biodegradáveis;
- Determinar o volume de metano e dióxido de carbono produzidos. As massas específicas do metano e dióxido de carbono são 0,7167 e 1,9768 g/L, respectivamente.
- Determinar a quantidade teórica total de gás gerado por unidade de massa de matéria seca.

A quantidade de gás produzido num aterro é inferior à estimada porque nem todo o material biodegradável está imediatamente disponível para a decomposição biológica (ex: papel fechado em sacos de plástico) e por vezes a quantidade de humidade é insuficiente.

Variação na produção de gás ao longo do tempo. A estimativa da velocidade de decomposição para os materiais rápida e lentamente biodegradáveis pode ser feita com base num modelo triangular de produção de gás, no qual a velocidade máxima de produção de gás ocorre um e cinco anos, respectivamente, após o início da produção de gás. [3]

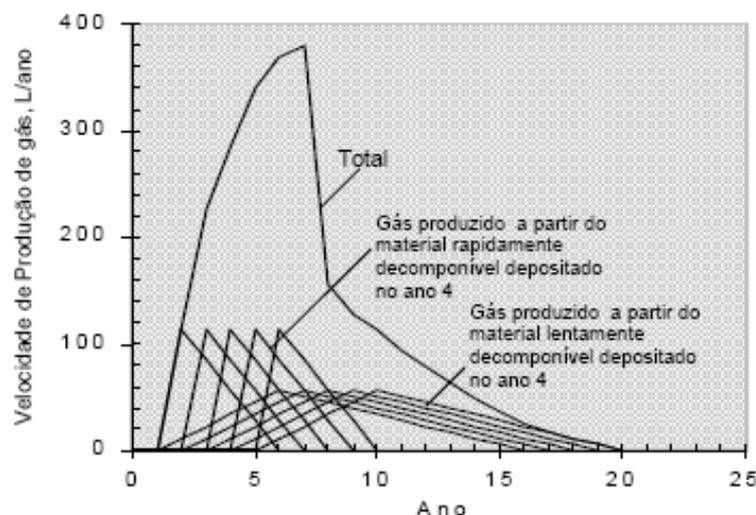


Fig. 6 – Representação gráfica da produção de gás [3]

Admite-se que a produção de gás se inicia no final do primeiro ano completo de operação do aterro. A área sob o triângulo é igual ao produto de metade da base pela altura,

portanto a quantidade total de gás produzido a partir do resíduo colocado no primeiro ano de operação é igual a

$$\text{Quant. total de gás produzido (l/g)} = \frac{1}{2}(\text{base, ano}) \times (\text{altura, máxime produção de gás, l/g.ano}) \quad (\text{eq. 3})$$

Usando um modelo triangular de produção de gás, a velocidade total de produção de gás num aterro num período de cinco anos é obtida pela soma gráfica do gás produzido a partir da matéria rápida e lentamente biodegradável. A quantidade total de gás produzido corresponde à área abaixo da curva de velocidade.

O teor de humidade óptimo para a conversão do material orgânico biodegradável é da ordem de 50 a 60%.

O teor de humidade nos aterros não está uniformemente distribuído. Se o teor de humidade do aterro for baixo, a curva de produção de gás é mais achatada, prolongando-se por períodos de tempo superiores, tal como representado na Fig. 7. A produção de gás de aterro durante grandes períodos de tempo é muito importante na selecção da estratégia de gestão a adoptar para a manutenção após o encerramento.

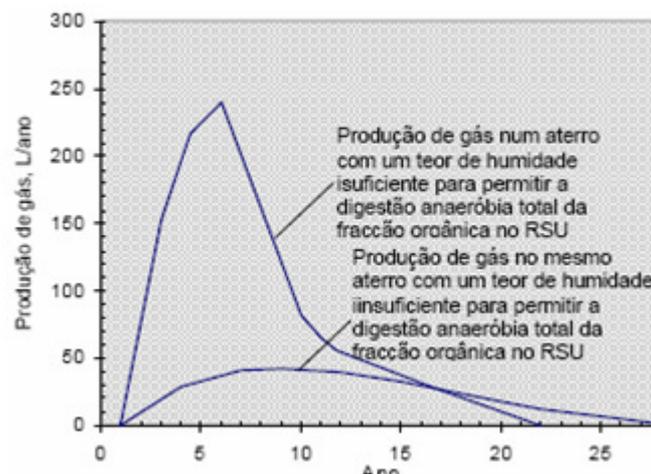


Fig. 7 – Efeito da redução do teor de humidade na produção de gás de aterro [3]

Relativamente aos gases vestigiais (muitos dos quais estão misturados com o resíduo na forma líquida, mas tendem a volatilizar-se) têm fundamentalmente duas origens: podem ser transportados para o aterro juntamente com o resíduo depositado ou podem ser produzidos por reacções abióticas que se dão no aterro. Se no aterro não forem depositados resíduos perigosos, a concentração de COV's no gás de aterro é significativamente reduzida.

3.5. Composição e Características dos gases de aterro

Um aterro de resíduos sólidos pode ser visto como um reactor bioquímico, em que as entradas principais são os resíduos sólidos e a água, e os principais produtos são o gás de aterro e o lixiviado. O material armazenado num aterro inclui o material orgânico parcialmente biodegradado e outros resíduos inorgânicos originalmente colocados no aterro. Os sistemas de controlo de gases são usados para prevenir movimentos indesejados de gás de aterro para a atmosfera ou movimentos laterais ou verticais através do solo circundante. O gás de aterro recuperado pode ser usado para produzir energia ou pode ser queimado sob condições controladas para eliminar a emissão de compostos nocivos para a atmosfera.

O gás de aterro é constituído por um conjunto de gases presentes em grande quantidade (gases principais, produzidos pela decomposição da fracção orgânica dos RSU) e por um conjunto de outros gases presentes em quantidades muito pequenas (gases vestigiais, que podem ser tóxicos e apresentar risco para a saúde pública).

3.5.1. Constituintes principais do gás de aterro

Os principais constituintes do gás de aterro são a amónia (NH_3), dióxido e monóxido de carbono (CO_2 , CO), hidrogénio (H_2), sulfureto de hidrogénio (H_2S), metano (CH_4), azoto (N_2) e oxigénio (O_2).

A composição dos gases de aterro varia ao longo do tempo. Na sua fase mais propícia à exploração dos gases (e que se inicia ao fim de 1-2 anos desde o início de exploração do aterro declinando daí em diante até aos 10 anos, quando praticamente cessa a produção valorizável [3]), a composição típica do gás do aterro encontra-se na Tabela 4.

Quando o metano está presente no ar em misturas de concentração compreendidas entre 5 e 15% é explosivo. Como a quantidade de oxigénio no aterro é muito pequena, quando a concentração de metano atinge este nível crítico, o risco de explosão do aterro é pequeno. Contudo, podem-se formar misturas com concentração na gama explosiva, nos gases que migram para o exterior e nas misturas com o ar. A concentração destes gases que se pode encontrar nos lixiviados depende da sua concentração na fase gasosa em contacto com o lixiviado, de acordo com a lei de Henry⁶. Como o dióxido de carbono afecta o pH do lixiviado, pode-se usar dados do equilíbrio do carbonato para estimar o pH do lixiviado.

⁶ A solubilidade de um gás dissolvido num líquido é proporcional à pressão parcial do gás acima do líquido, $X=K.P$
 X – fracção molar de equilíbrio do gás em solução | K – Constante de Henry | P – Pressão parcial na fase gasosa.

Tabela 4 – Composição típica de um gás de aterro de RSU [3]

Constituinte	Porcentagem (base volume seco)
Metano	45 - 60
Dióxido de Carbono	40 - 60
Azoto	2-5
Oxigénio	0,1 - 1,0
Sulfuretos, Bissulfuretos, Mercaptanos, etc.	0 - 1,0
Amónia	0,1 - 1,0
Hidrogénio	0 - 0,2
Monóxido de Carbono	0 - 0,2
Constituintes vestigiais	0,01 - 0,6
Características	Valor
Temperatura, °C	37 - 49
Densidade	1,02 - 1,06
Teor de humidade	Saturado
Poder Calorífico Superior, MJ/m ³ _n	14,9 - 20,5

3.6. Recolha/Drenagem de gases

O enquadramento deste tema com a legislação em vigor foi feito no ponto 2.3.2. Assim, em condições normais, os gases produzidos nos solos são libertados para a atmosfera por difusão molecular. No caso de um aterro activo, a pressão interna é geralmente superior à pressão atmosférica e o gás de aterro será então libertado por fluxo convectivo (gradiente de pressão) e por difusão. A adsorção dos gases nos componentes líquidos ou sólidos e a geração ou consumo de um constituinte gasoso por reacção química ou actividade biológica são dois factores que podem influenciar o movimento dos gases de aterro. A equação que relaciona estes factores num elemento de volume unidimensional (vertical) - é representada pela seguinte equação:

$$\alpha(1 + \beta) \frac{\partial C_A}{\partial t} = -V_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D_z \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + G \quad (\text{eq. 4})$$

Onde:

α – Porosidade total (m³/m³)

β – Factor de retardação que contabiliza a adsorção e a mudança de fase

C_A – Concentração do componente A, kg/m³

V_z – Velocidade convectiva na direcção vertical, m/s

D_z – Coeficiente de difusividade efectiva, m²/s

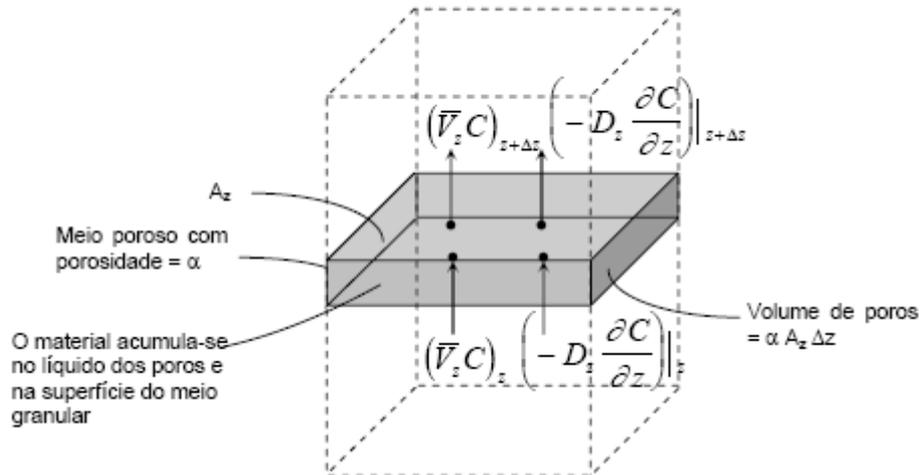


Fig. 8 – Elemento de volume de controlo para o movimento vertical do gás de aterro [3]

A velocidade convectiva, V_z , na direcção vertical pode ser estimada usando a lei de Darcy⁷ do seguinte modo:

$$V_z = -\frac{k d P}{\mu dz}$$

Onde:

- k – permeabilidade intrínseca, m^2
- μ – Viscosidade da mistura gasosa, $N.s/m^2$
- P – Pressão, N/m^2
- z – Profundidade, m

Geralmente $1 < V_z < 15$ cm/dia

Se os efeitos de sorção e produção forem desprezados, a equação (eq.4) transforma-se (em estado estacionário) em

$$0 = -V_z \frac{\partial C_A}{\partial z} + D_z \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \quad (\text{eq. 5})$$

Se a produção de gás de aterro já não for significativa, então apenas resta a parcela difusiva da equação (eq.5) que pode ser integrada para originar a seguinte equação:

$$N_A = D_z \frac{dC_A}{dz} \quad (\text{eq. 6})$$

Onde N_A representa o fluxo gasoso, $kg/m^2.s$

⁷ Lei proposta pelo engenheiro hidráulico francês Henry Darcy, segundo a qual, o caudal de escoamento ou volume por unidade de tempo é: proporcional à secção transversal; proporcional à diferença de cargas hidráulicas entre os piezómetros; inversamente proporcional à distância entre os piezómetros de água que atravessa o caudal de escoamento.

O coeficiente de difusividade efectiva é função da difusão molecular e da porosidade do solo. Para o movimento do vapor de Lindano no solo, obteve-se a seguinte equação:

$$D_z = D \frac{(\alpha_{gas})^{10/3}}{\alpha^2} \quad (\text{eq. 7})$$

Onde

D_z – coeficiente de difusividade efectiva, m^2/s

D – coeficiente de difusividade, m^2/s

α_{gas} – Porosidade ocupada pelo gás, (m^3/m^3)

α – Porosidade total, (m^3/m^3)

Outra aproximação para a determinação do coeficiente de difusividade efectiva é a seguinte:

$$D_z = D \alpha \tau \quad (\text{eq. 8})$$

Sendo:

τ - Factor de tortuosidade (valor típico = 0,67).

3.7. Movimento dos principais gases de aterro

Embora a maior parte do metano escape para a atmosfera, determinaram-se concentrações de metano e dióxido de carbono de cerca de 40% a distâncias laterais de cerca de 120 m dos extremos de aterros não revestidos com telas. Em aterros não ventilados, a extensão deste movimento lateral varia com as características do material de cobertura e do solo circundante. Se o metano for ventilado de modo descontrolado, pode-se acumular por baixo dos edifícios (porque é menos denso do que o ar) ou noutros espaços fechados, ou próximos do aterro. Com ventilação adequada, o único problema do metano é o de que é um gás que tem um elevado efeito de estufa. Pelo contrário, o dióxido de carbono é problemático porque é mais denso do que o ar e o metano pelo que tende a acumular-se para o fundo do aterro. Em consequência, a concentração de dióxido de carbono nas partes mais baixas do aterro pode permanecer elevada durante vários anos.

3.7.1. Migração ascendente do gás de aterro

Tanto o metano como o dióxido de carbono podem ser libertados para a atmosfera através da cobertura do aterro por convecção e difusão. O fluxo difuso através da cobertura pode ser estimado usando as equações (eq.7) e (eq.8), admitindo que o gradiente de concentração é linear e o solo seco, pelo que $\alpha_{gas} = \alpha$. Adicionalmente, admitir que o solo está seco introduz um factor de segurança na medida em que qualquer

infiltração de água na cobertura do aterro reduz a porosidade ocupada pelo gás e consequentemente reduz o fluxo de vapor do aterro.

$$N_A = -\frac{D \alpha^{4/3} (C_{Aatm} - C_{Acob})}{L}$$

Onde

N_A – Fluxo gasoso do componente A, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$

C_{Aatm} – Concentração do componente A na superfície da cobertura do aterro, kg/m^3

C_{Acob} – Concentração do componente A no fundo da cobertura do aterro, kg/m^3

L – Altura da cobertura do aterro, m

Os valores usuais para o coeficiente de difusividade do metano e dióxido de carbono são de 0,20 e 0,13 cm^2/s , respectivamente.

3.7.2. Migração descendente do gás de aterro

O dióxido de carbono pode-se acumular no fundo do aterro, devido à sua densidade. Se for usado um revestimento de solo, o dióxido de carbono pode-se mover daí para baixo, primeiro por transporte difuso através do revestimento e, depois, através da formação inferior até atingir a água subterrânea (o movimento do dióxido de carbono pode ser limitado por utilização de uma geomembrana de revestimento). Como o dióxido de carbono é solúvel na água, reagindo com ela de acordo com a (eq.9) para formar ácido carbónico, o pH baixa, o que faz aumentar a dureza e o teor mineral da água subterrânea, por solubilização:



Por exemplo, se existir carbonato de cálcio sólido na estrutura do solo, o ácido carbónico reage com ele para formar bicarbonato de cálcio solúvel, de acordo com a seguinte reacção (eq. 10):



Ocorrem reacções semelhantes com carbonatos de magnésio. A reacção da (eq.10) dá-se até se atingir o equilíbrio, de acordo com a equação (eq.11):



Qualquer processo que faça aumentar a quantidade de CO_2 livre disponível, provoca uma maior dissolução do carbonato de cálcio.

3.7.3. Movimento dos gases vestigiais

Nas condições fronteira assinaladas na figura seguinte e na eq.12, esta pode ser adaptada para os gases vestigiais encontrados num aterro:

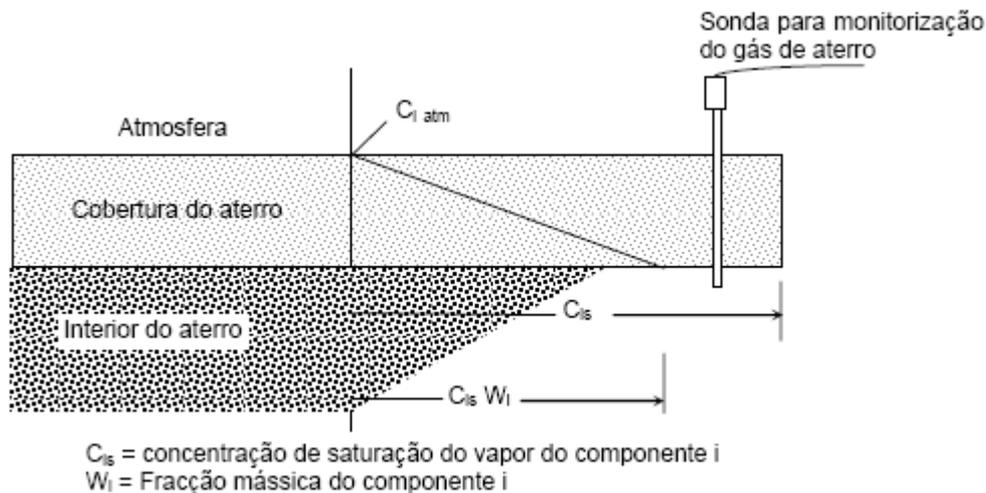


Fig. 9 – Esquema do movimento de gases vestigiais de aterro através da cobertura de um aterro

[4]

$$N_i = - \frac{D\alpha^{4/3}(C_{i\ atm} - C_{i\ s} W_i)}{L} \quad (\text{eq. 12})$$

Onde

N_i – Fluxo de vapor do componente i, $\text{kg/m}^2.\text{s}$

D – Coeficiente de difusividade, m^2/s

α – Porosidade do solo seco, m^3/m^3

$C_{i\ atm}$ – Concentração do componente i na superfície da cobertura do aterro, kg/m^3

$C_{i\ s}$ – Concentração de saturação do vapor do componente i, kg/m^3

W_i – Factor de escala para contabilizar e fracção real de componente i no resíduo

$C_{i\ s} W_i$ – Concentração do componente i no fundo da cobertura do aterro kg/m^3

L – altura da camada de cobertura (m)

A equação (eq.12) pode ser simplificada admitindo que $C_{i\ atm}$ é nula, o que é razoável porque a concentração de constituinte vestigial que atinge a superfície do aterro diminui rapidamente por dispersão pelo vento e difusão no ar. A equação resultante permite fazer uma estimativa conservativa do fluxo de gás.

A porosidade para diversos tipos de argila é de 0,010 a 0,30.

Se não for possível medir o valor de $C_{i\ s}$ ou W_i , inserindo uma sonda de gás através da cobertura do aterro num ponto mesmo por baixo da cobertura, este pode ser estimado usando os dados da Tabela 5. Na falta do valor adequado de W_i , pode-se usar o valor de 0,001.

Tabela 5 – Concentração medida e de saturação da fase gasosa para componentes vestigiais [4]

Componente	Concentração, mg/m ³		Factor de escala, Wi
	Máximo medido	Valor de saturação	
Benzeno	135,9	319000	0,0004
Clorobenzeno	6,8	54000	0,0001
Etilbenzeno	414,5	40000	0,01
1,1,1 - Tricloroetano	86,3	715900	0,0001
Cloroetano	89,2	8521000	0,00001
Tetracloroetano	1331,7	126000	0,01
Tricloroetano	85,1	415000	0,0002
Dicloroetano	871,5	1702000	0,0005
Triclorometano	63,9	1027000	0,00001
Tolueno	1150,5	110000	0,01

3.7.4. Controlo Passivo dos gases de aterro

O movimento dos gases de aterro deve ser controlado para reduzir as emissões para a atmosfera, minimizar a libertação de emissões com mau cheiro, minimizar a migração sub-superficial dos gases e para permitir a recuperação da energia a partir do metano. Os sistemas de controlo podem ser classificados em activos – a pressão do gás produzido no aterro é a força directriz para o movimento do gás; a difusão molecular é o mecanismo de transporte dominante – e passivos – usa-se energia, sob a forma de vácuo induzido, para controlar o fluxo de gás. O controlo passivo pode ser conseguido quando as taxas de produção dos gases principais são grandes, originando percursos de maior permeabilidade que conduzem o fluxo gasoso na direcção desejada. Uma vala com cascalho pode servir para canalizar o gás para um sistema de ventilação com um queimador.

1- Ventiladores de redução de pressão/queimador na cobertura do aterro

Se a concentração do metano for suficientemente elevada, podem-se interligar vários tubos de ventilação e equipá-los com um queimador de gás (Fig. 10). O queimador terá mais eficiência se a ignição se der por intermédio de uma chama piloto contínua.

Os ventiladores passivos com queimadores podem não garantir a destruição de COV's e odores exigidas na lei.

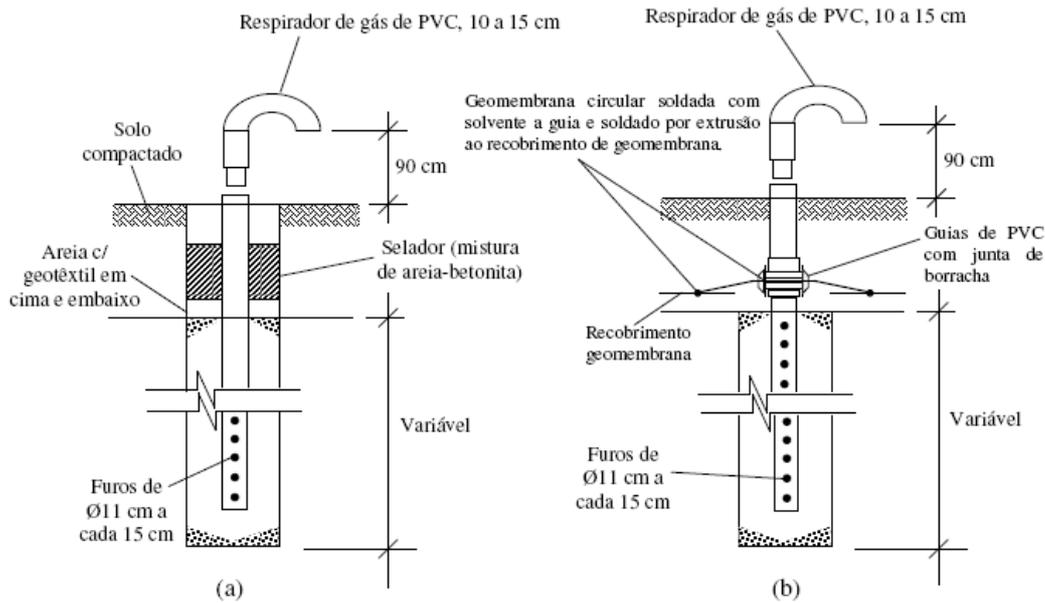


Fig. 10 – Ventiladores usados na superfície para o controlo passivo do gás de aterro a) Ventilador de gás para aterro com uma cobertura sem geomembrana de revestimento b) Ventilador de gás para um aterro com uma cobertura que tem uma membrana sintética de revestimento. adaptado de [4]

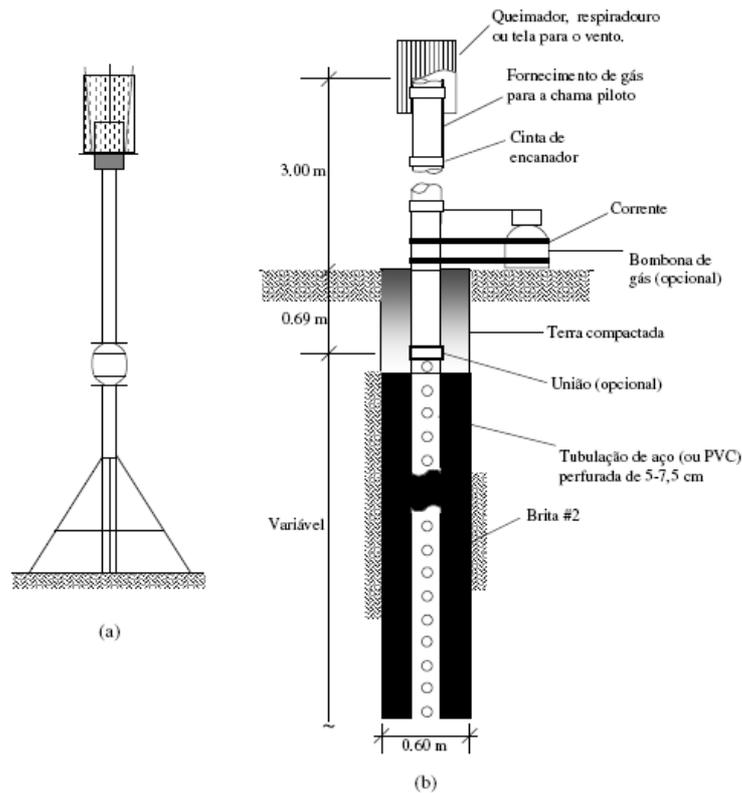


Fig. 11 – Queimador tipo candelabro para gás de resíduos, utilizado para queimar o gás de aterro procedente de um poço de ventilação ou de vários poços de ventilações interligados: (a) sem chama piloto e (b) com chama piloto. Adaptado de [4]

2- Trincheira de Intercepção no Perímetro

Consiste numa trincheira de intercepção cheia com cascalho, contendo um tubo de plástico perfurado na horizontal (PVC, PE). O tubo perfurado está ligado a elevadores verticais através dos quais o gás de aterro que é recolhido no depósito da trincheira pode ser ventilado para a atmosfera. Para facilitar a recolha do gás, instala-se frequentemente uma tela de revestimento na parede da trincheira afastada do aterro.

3- Trincheiras Barreira no Perímetro ou Muro de lama

Geralmente as trincheiras barreiras são cheias com materiais relativamente impermeáveis, tais como bentonite ou lamas de argila. Nestes casos, a trincheira constitui um obstáculo físico ao movimento do gás.

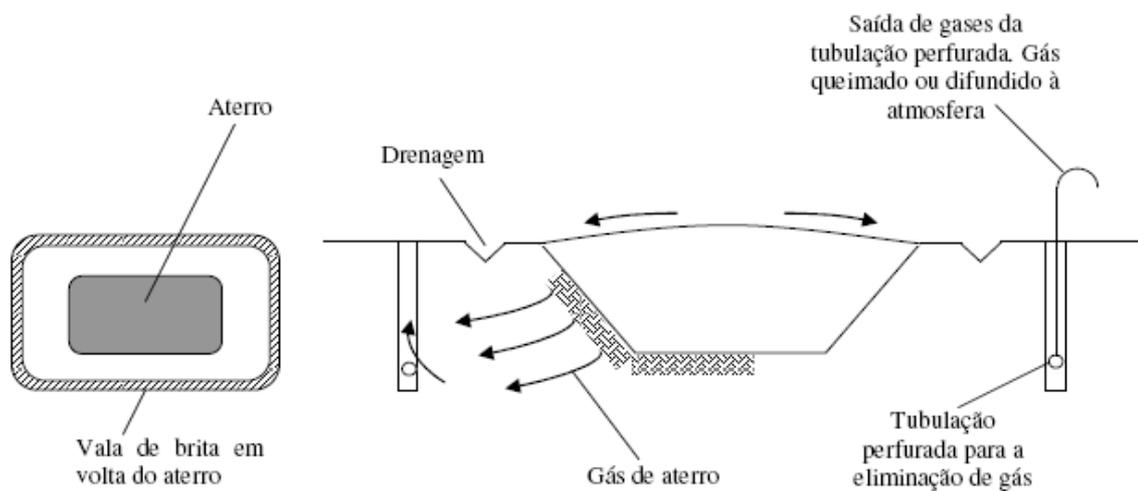


Fig. 12 - Trincheiras de barreiras no Perímetro [4]

Tabela 6 – Selantes de aterro para o controlo de movimento de gás e lixiviado [4]

Selante		
Classificação	Tipos representativos	Observações
Solo compactado		Deve conter alguma argila ou aluvião fino Selante mais usado nos aterros; a espessura da camada é de 15 a 120 cm; a camada deve ser contínua e não se deve permitir que seque e quebre
Argila compactada	Bentonites, vermiculites, caolinites	A utilização depende das características do solo local
Químicos inorgânicos	Carbonato, silicato ou pirofosfato de sódio	Experimental, utilização em campo mal conhecida
Químicos sintéticos	Polímeros, látex de borracha	Usado habitualmente para controlo de lixiviados; utilização crescente para controlo de gás de aterro
Membranas de revestimento sintético	PVC, Borracha butílica, Hypalon, PE, Revestimentos reforçados com nylon	A camada deve ser suficiente espessa para manter a continuidade em condições de assentamento diferencial
Asfalto	Asfalto modificado, borracha impregnada com asfalto, betão asfáltico	Usado raramente para o controlo do movimento dos gases e lixiviados devido às fissuras de retracção após a construção
Outros	Betão injectado, cimento de solo, cimento de solo plástico	

3.7.5. Controlo activo dos gases de aterro

O movimento lateral do gás de aterro pode ser controlado usando poços e trincheiras de extracção no perímetro e aplicando vácuo parcial, o que induz o gradiente de pressão no sentido do poço de extracção. O gás extraído é queimado num queimador para controlar a emissão de metano e COV's ou usado para a produção de energia. Também se usam poços de injeccção de ar.

1 – Poço de Extracção de gás e controlo de odores no perímetro

São usados em aterros com profundidade de resíduos sólidos de pelo menos 7,5m; pode a distância entre o aterro e o seu exterior ser relativamente pequena.

Consistem numa série de poços verticais instalados no aterro ao longo da borda ou na área entre a borda do aterro e o limite do local (Fig. 13). Os poços estão ligados por um tubo comum que por sua vez está ligado a um ventilador centrífugo, que induz vácuo. Gera-se uma zona ou raio de influência que se estende à massa de resíduo sólido que envolve cada poço. O gás extraído pode ser queimado ou usado como fonte de energia.

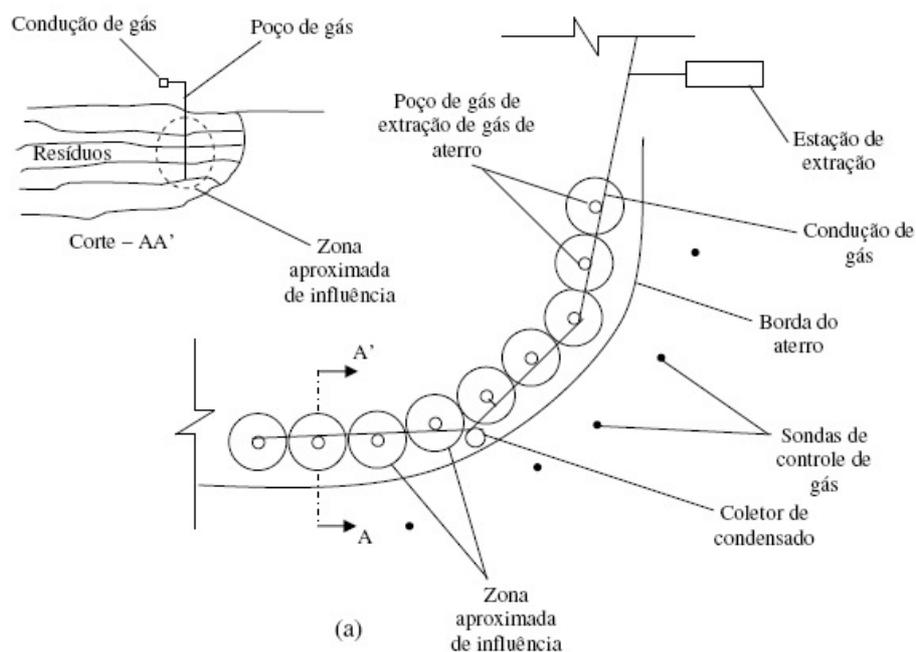


Fig. 13 – Instalação para o controlo activo da migração de gás de aterro: poços de extracção de gás de aterro no perímetro [4]

2 – Trincheiras de extracção de gás no perímetro

Representado na Fig. 14. Usados para locais de deposição com profundidades inferiores a 7,5 m.

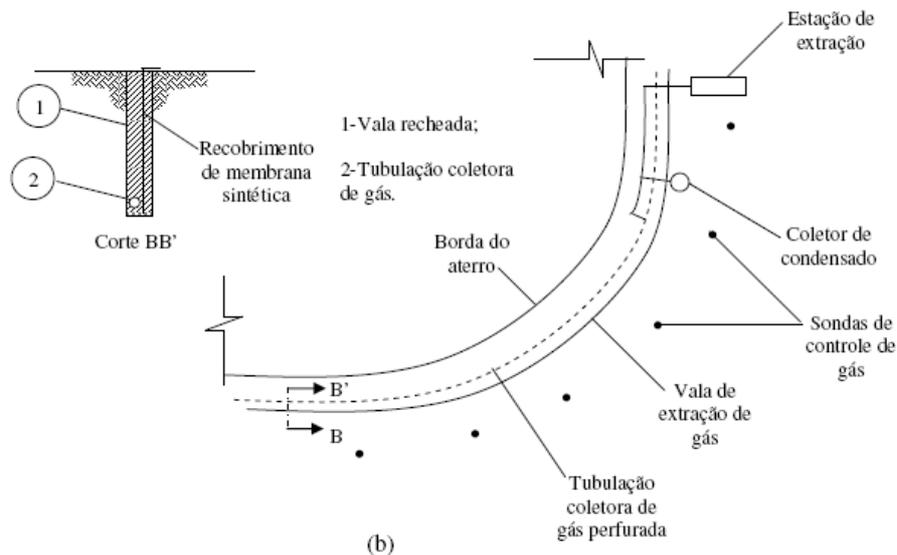


Fig. 14 - Instalação para o controlo activo da migração de gás de aterro: trincheira de extracção de gás de aterro no perímetro [4]

3 – Poços de Injecção de Ar no Perímetro

Consistem numa série de poços verticais instalados nos solos entre os limites de aterro de resíduos e as unidades a proteger dos gases de aterro. Usam-se em aterros com profundidades de, pelo menos, 6 m.

Controlo Activo dos Gases de Aterro com Poços de Extracção Vertical e Horizontais

Usam-se poços de gás horizontais e verticais para a extracção de gás de aterro. A gestão do condensado formado quando o gás de aterro é extraído também constitui um elemento importante no projecto dos sistemas de recuperação de gás.

1 – Poços Verticais de Extracção de Gás

Para determinar o raio de influência dos poços de gás (Fig. 15), devem ser realizados testes de remoção de gás no terreno. Os poços devem estar espaçados de modo a que os seus raios de influência se sobreponham (Fig. 16).

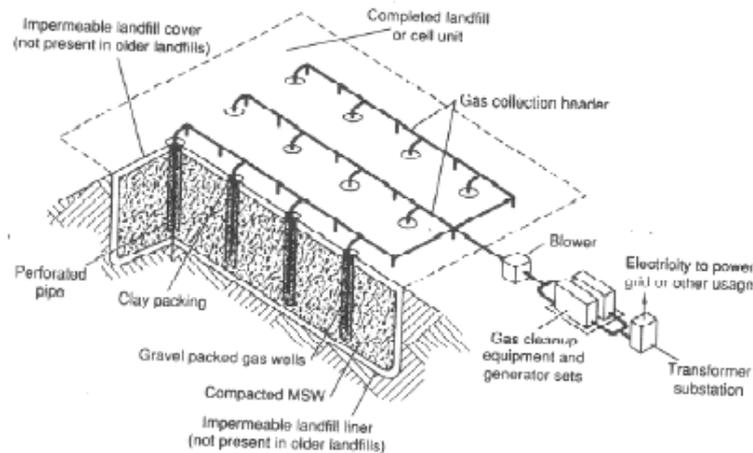


Fig. 15 – Sistema de recuperação de gás de aterro usando poços verticais [4]

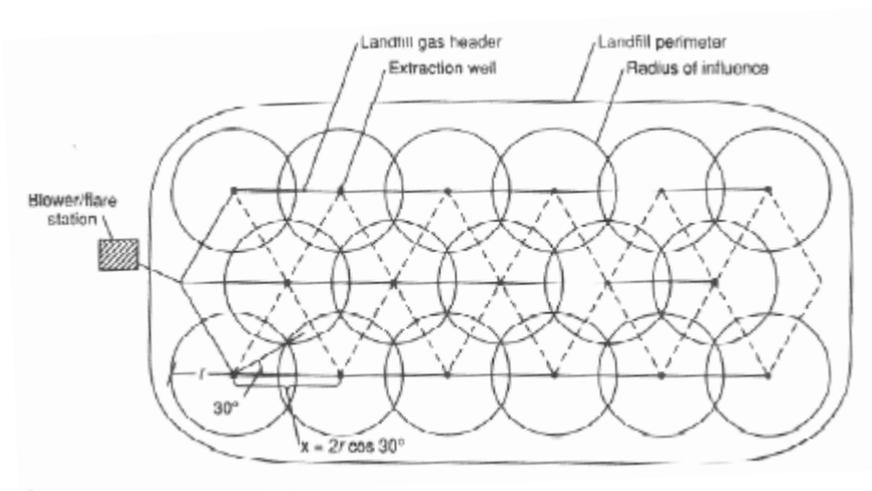


Fig. 16 – Distribuição triangular equilátera para poços verticais de extracção de gás [4]

2 – Poços Horizontais de Extracção de Gás

Os poços horizontais são instalados após a conclusão de um ou dois pisos. Escava-se uma trincheira horizontal que é depois parcialmente cheia com cascalho e nela é colocado um tubo perfurado com juntas abertas. A trincheira é então cheia com cascalho e tapada com resíduo sólido. Estas trincheiras horizontais são colocadas a intervalos verticais de 24 m e a intervalos horizontais de 60 m (Fig. 17).

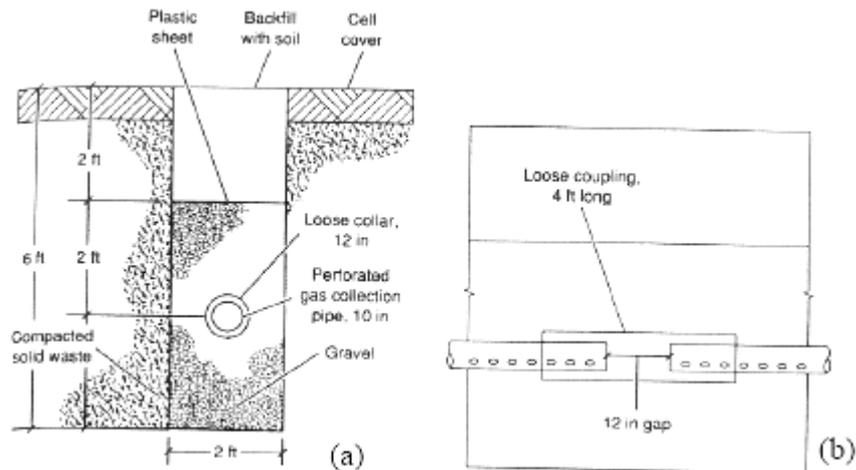


Fig. 17 – Pormenor de trincheira de extracção horizontal de gás (a) secção e (b) vista lateral [4]

3.8. Controlo de Condensados em Sistemas de recuperação de Gás

Formam-se condensados quando o gás de aterro quente arrefece à medida que é transportado no tubo que o conduz ao ventilador. Os tubos condutores de recolha de gás são instalados com um declive mínimo de 3% para permitir assentamentos diferenciais. São também instalados colectores de condensados que podem ser enviados para o aterro (Fig. 18).

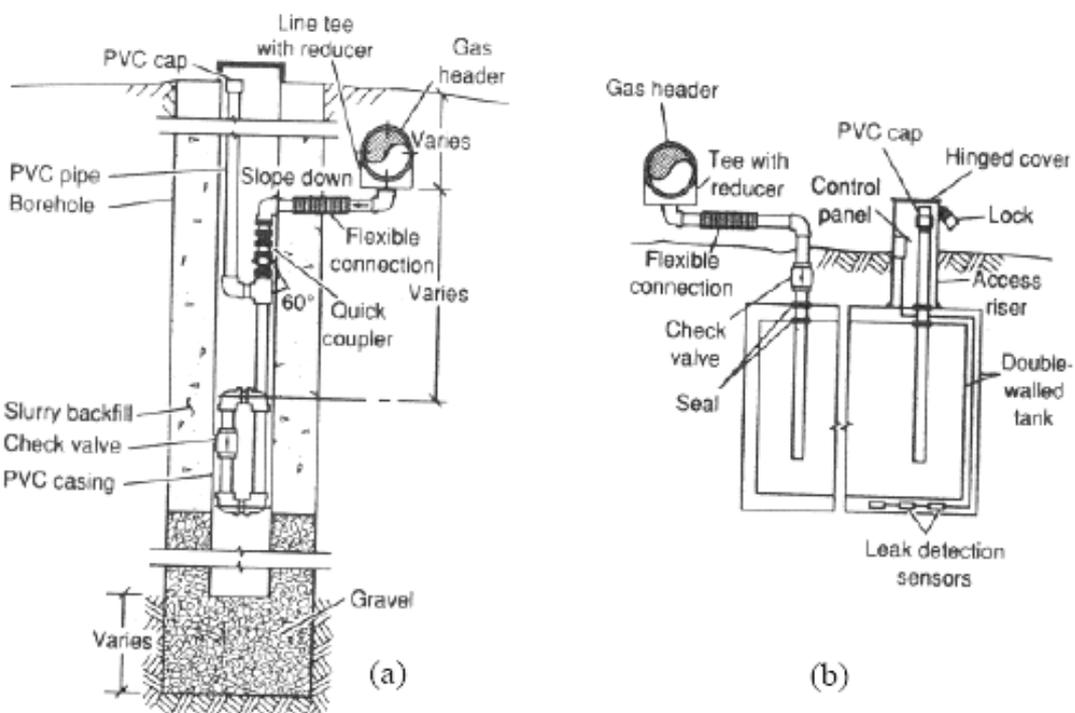


Fig. 18 – Colectores de condensado típico: (a) o líquido é devolvido ao aterro e (b) o líquido é armazenado num tanque de retenção. [4]

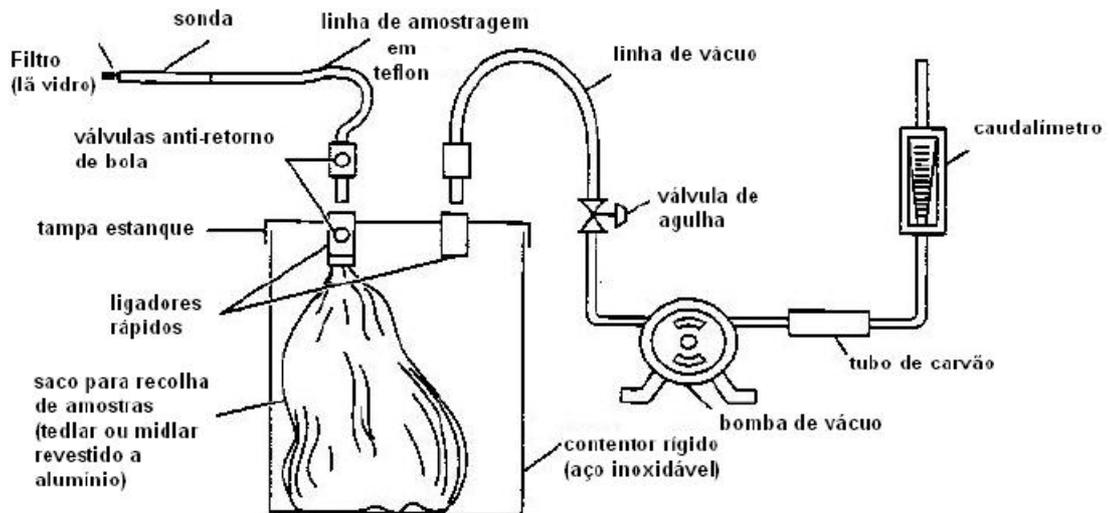


Fig. 19 – Possível sistema para recolha de amostras gasosas em aterros [4]

4. Apresentação do modelo teórico

Para se proceder a uma previsão teórica da produção de biogás é possível recorrer a um modelo matemático que, impondo as condições do aterro, o tempo de exploração, a quantidade de resíduos depositada e as características do mesmo, simula a produção de metano no biogás.

No estudo em causa foi utilizado o modelo desenvolvido pela EPA, denominado “Landfill Gas Emissions Model” (LandGEM), modelo este que será apresentado pormenorizadamente mais adiante.

De seguida serão apresentados modelos alternativos, quando o objectivo é calcular a produção de metano em aterro:

4.1. Modelo proposto pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [5]

O modelo proposto apresenta uma metodologia de fácil aplicação permitindo calcular ou determinar as emissões anuais de metano para países ou regiões específicas a partir da quantidade de resíduos sólidos depositados em aterros de resíduos sólidos de classificação diferente, como pode ser observado na Tabela 7. Esse método, que segue a Equação (eq.13), considera a estimativa da percentagem de carbono orgânico degradável e sua fracção distinta presente na massa de lixo, determinando deste modo a quantidade de metano que pode ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, onde se consideram diferentes categorias de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 7 – Sistema de classificação dos aterros

Classificação	Tipos de resíduo
I	Resíduos perigosos
II	Resíduos especiais
III	Resíduos Sólidos Urbanos

$$E_{CH_4} = (Pop_{urb} \times TaxaRSD \times RSD_f \times FCM \times COD \times COD_f \times F_{16/12} - R) \times (1 - OX) \quad (\text{eq. 13})$$

Onde:

$E_{CH_4} \Rightarrow$ Emissão de Metano ($GgCH_4$ / ano)

$Pop_{urb} \Rightarrow$ População urbana do país (n° habitantes)

$TaxaRSD \Rightarrow$ Taxa de geração de resíduos sólidos domésticos por habitante por ano ($kgRSD$ / habitante.ano)

$RSD_f \Rightarrow$ Fracção de resíduos sólidos domésticos que é depositada em locais de disposição de resíduos sólidos

$FCM \Rightarrow$ Factor de correcção de metano

$COD \Rightarrow$ Carbono orgânico degradável no resíduo sólido doméstico (adimensional ou gC / $gRSD$)

$COD_f \Rightarrow$ Fracção de COD que realmente se degrada

$F \Rightarrow$ Fracção de CH_4 no gás de aterro

16/12 \Rightarrow Taxa de conversão de carbono em metano (a dimensional ou gCH_4 / gC)

$R \Rightarrow$ Quantidade de metano recuperado ($GgCH_4 / ano$)

$OX \Rightarrow$ Factor de oxidação.

O factor de correcção de metano (FCM) está relacionado com a qualidade da colocação do resíduo, considerando o facto do resíduo ser aterrado de forma inadequada produzindo uma menor quantidade de metano em relação àquele destinado a locais adequados, onde uma maior parte do resíduo é decomposta em condições anaeróbias. Valores recomendados pelo modelo IPCC para este factor são mostrados de seguida:

Tabela 8 – Locais de deposição de resíduos e factor de correcção de Metano [5]

Tipo de Local	Factor de Correcção de Metano (FCM)
Adequado ⁸	1
Inadequado (profundo $p \geq 5,00$ m de resíduo)	0,8
Inadequado (não profundo $p < 5,00$ m de resíduo)	0,4
Sem classificação ⁹	0,6

A quantidade de carbono orgânico degradável (COD) é determinada pela Equação (eq.14), que se baseia na composição do lixo e na quantidade de carbono em cada componente da massa de resíduo como reportado em IPCC (1996). Na Tabela 9 são apresentados os valores de COD para diferentes componentes do lixo.

Tabela 9 – Componente dos resíduos e seu COD¹⁰

Componente	COD (% em massa)
A - Papel e cartão	40
B - Resíduos de parques e jardins	17
C - Restos de alimentos	15
D - Tecidos	40
E - Madeira ¹¹	30

⁸ Locais adequados devem ter deposição controlada do resíduo abrangendo o material de cobertura, compactação mecânica e nivelamento do resíduo.

⁹ Para locais não classificados é assumido um valor padrão para o FCM.

¹⁰ Bingemer & Crutzen (1987)

¹¹ Excluída a fracção de lignina que se decompõe lentamente

$$COD = 0,4x(A) + 0,17x(B) + 0,15x(C) + 0,30x(E) \quad (\text{eq. 14})$$

No caso de não estar discriminada a composição de matéria orgânica presente nos resíduos, e sim, como outros, esta categoria englobaria os resíduos de jardim, parques e outros orgânicos putrescíveis não alimentos (B), resíduos de alimentos (C) e resíduos de madeira e palha (D). A Equação (eq.15) teria de ser tratada por uma faixa, dentro dos limites (15-30%), sugerida da seguinte forma:

$$COD = 0,4x(A) + (0,15 a 0,30)(B + 0,15x + 0,30) \quad (\text{eq. 15})$$

A fracção diferenciada COD_f é a parcela de COD convertida em gás de aterro. Segundo Tabasaran (1981), estimar a quantidade de carbono diferenciada é confiar em um modelo teórico que varia com a temperatura na zona anaeróbia de um aterro:

$$COD_f = 0,014T + 0,28 \quad (\text{eq. 16})$$

Onde:

T = temperatura (°C)

Assume-se que a temperatura na zona anaeróbia de um local de disposição de resíduos sólidos (LDRS) permanece constante por volta dos 35°C não obstante da temperatura ambiente (Bingemer & Crutzen, 1987). É recomendado o valor de 0,77 para a fracção de COD obtido através da Equação (eq. 16). Caso haja informação adicional, será de grande relevância para a determinação do COD_f .

4.2. Modelos de Onk & Boom (1995)

São apresentados os modelos onde se estima a produção de biogás aplicados em diversos aterros, os quais seguem abaixo:

Tabela 10 - Tipos de modelos e suas equações¹²

Tipos de Modelos	Equações	
Ordem zero	$\alpha = \xi 1,87 A k_0$	eq. 17
Primeira ordem	$\alpha = \xi 1,87 A C_0 k_1 e^{-k_1 t}$	eq. 18
Multi-fase	$\alpha = \xi \sum_{i=1}^3 1,87 A C_{0,i} k_{1,i} e^{-k_{1,i} t}$	eq. 19
Segunda ordem	$\alpha = \xi 1,87 A k_2 \left(\frac{C_0}{k_2 C_{0(t+1)}} \right)^2$	eq. 20

Onde:

$\alpha_1 \Rightarrow$ Formação do gás de aterro por um certo tempo ($m^3 \cdot ano^{-1}$)

$\xi \Rightarrow$ Factor de dissimulação

$A \Rightarrow$ Quantidade de resíduos depositada (t)

k_1 e $k_2 \Rightarrow$ Taxa de degradação constante (ano^{-1})

$C_0 \Rightarrow$ Quantidade de carbono orgânico no resíduo (kg / t de resíduos)

$k_{1,i} \Rightarrow$ Taxa de degradação constante de fracção i (ano^{-1})

$t \Rightarrow$ Tempo desde a deposição do resíduo (anos)

Onk e Boom estimaram dos parâmetros z , k_1 e k_2 que integram as equações (eq. 17 a eq. 20) usados em nove aterros da Alemanha, por meio de dados levantados a respeito da quantidade, idade e composição do resíduo, disponibilizados pelos operadores dos aterros, como também a produção de biogás nos projectos implantados nos locais. Foi com base na experiência de vários especialistas, que consideraram diversos factores tais como o projecto do aterro e do sistema de drenagem, a profundidade da camada de resíduo, inclinação dos taludes e o material de cobertura, que foram adoptadas as eficiências de captação dos sistemas de aproveitamento do biogás.

Segundo Onk & Boom (1995) de um modo geral, um aterro projectado com drenos de biogás verticais ou horizontais, possuindo espaçamento inferior a 70,0 m entre os drenos e camada de cobertura de solo argiloso ou manta sintética impermeável apresenta uma eficiência de captação de aproximadamente 55%, sendo este valor adaptado para cada caso de acordo com os seguintes itens:

¹² Onk & Boom, 1995

- A presença de camada sinttica impermeável na cobertura vem proporcionar uma eficiência de captao de 60% a 95% dependendo da possibilidade de migrao do biogás através do solo;
- A presença de solo argiloso na cobertura proporciona uma eficiência de captao de 60% a 75%, que dependerá da espessura da camada, da idade do aterro e da possibilidade de migrao do biogás através do solo;
- As distâncias entre drenos > 100,0 m fazem com que seja reduzida de 5% a 10% a eficiência do sistema de captao;
- Os taludes com inclinao acima de 40^o conseguem reduzir de 5% a 10% a eficiência do sistema de captao;
- A camada de resíduos com altura acima de 20,0 m, faz aumentar a eficiência de 5 a 10%;
- A camada de resíduos com espessura menor que 10,0 m, faz reduzir a eficiência da captao em 5%.

Oonk & Boom (1995) ao aplicarem os modelos em diversos aterros na Holanda, puderam comparar os resultados teóricos com medioes de emissão de biogás na superfície dos aterros, obtendo assim, maiores resultados com erros relativos menores que 30% e, k atribuindo os desvios encontrados nas comparaoes às incertezas nas quantidades de resíduo e nas eficiências de captao adotadas. O modelo de ordem zero foi o que apresentou maior erro, em torno de 44%. Os modelos de primeira e segunda ordem apresentaram erros de 22%, enquanto o modelo multi-fase teve erro de 18%. Constataram-se também diferenças entre os modelos multi-fase, primeira ordem e segunda ordem, sendo que essas diferenças são relativamente pequenas e que o uso do modelo de primeira ordem, mais simplificado que os outros modelos, consegue fornecer resultados confiáveis em muitos casos.

Os resultados obtidos por Oonk & Boom (1995) nas estimativas dos parâmetros presentes nas Equaoes (eq. 17 a eq. 20) para os aterros de resíduos na Alemanha, são expressos na Tabela 11 e podem também ser utilizados em aterros que possuam composio do resíduo e clima regional semelhante.

Tabela 11 – Parâmetros estimados para os modelos de geração de biogás em aterro propostos por Oank & Boom (1995)

Tipos de Modelos	Equações
Ordem zero	$\xi k_0 = 2,4 \text{ kg} / t_{ano}$ $\xi = 0,58;$
Primeira ordem	$k_1 = 0,094 / ano$ $\xi = 0,58;$ $k_{1,1} = 0,185 / ano;$ $k_{1,2} = 0,100 / ano$
Multi-fase	$k_3 = 0,030 / ano$ $\xi = 0,65;$
Segunda ordem	$k_2 = 0,0012 t / \text{kg}_{ano}$

4.3. Modelo GasSim

O modelo GasSim (Versão 1.00, Junho 2002) (Gregory et al., 2003) vem equipado com duas aproximações matemáticas para calcular prognosticamente a emissão de metano (manual GasSim Versão 1.00). A primeira aproximação usa a equação multi-fase do modelo GasSim, que é similar ao modelo descrito na Tabela 11. A segunda aproximação para estimar a formação de gás de aterro (GA) é a mesma usada pelo modelo LandGEM. Assim, da mesma maneira que o modelo LandGEM determina a massa de metano gerada usando o potencial de geração de metano e a massa de carbono depositada, o modelo GasSim faz a mesma determinação. A qualidade do (GA) gerado é determinada usando o potencial de geração de metano e a relação de metano com dióxido de carbono. Tanto o modelo GasSim quanto o outro modelo (LandGEM) podem matematicamente ser descritos por (eq. 21):

$$L_1 = \frac{L[1/([CH_4]/100)]}{V_m} M \quad (\text{eq. 21})$$

Onde:

$L_1 \Rightarrow$ Potencial de geração de LFG (g / t)

$V_m \Rightarrow$ Volume molar ($2,241 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$)

$M \Rightarrow$ Massa molar relativa de carbono ($\text{m}^3 \text{ Mg}^{-1}$)

$[CH_4] \Rightarrow$ Concentração de metano no LFG (%)

Através da determinação de L_1 a massa disponível de carbono degradável pode ser determinada por (eq. 22):

$$C = C_i x L_i \quad (\text{eq. 22})$$

Onde:

$C \Rightarrow$ *Massa de carbono degradável (Mg)*

$C_i \Rightarrow$ *Massa de carbono depositada (Mg)*

Para determinar a formação de metano L_1 e C são aplicados em um modelo de primeira ordem como descrito anteriormente e a emissão de metano é determinada pela Equação (eq. 23):

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4\ (m^3\ .h^{-1}) = Pr\ odu\tilde{c}\tilde{a}o\ CH_4 - Re\ cupera\tilde{c}\tilde{a}o\ CH_4 - Oxida\tilde{c}\tilde{a}o\ CH_4 \quad (eq. 23)$$

5. Tecnologias de gestão do biogás

Os gases de aterro podem ser simplesmente queimados num queimador, dispositivo utilizado na ignição e queima do biogás, e/ou usados para recuperação de energia na forma de calor e electricidade. A separação do dióxido de carbono do metano é uma alternativa à produção de calor e electricidade.

A opção pela queima/valorização do gás de aterro em queimador baseia-se num estudo económico que contabiliza o valor da energia que pode ser produzida e os custos da recuperação dessa energia. Note-se ainda que a produção de gás num aterro não é constante (nem qualitativa nem quantitativamente) pelo que, a opção de recuperação energética é de difícil decisão.

5.1. Incineração dos gases de aterro

Um método comum para “eliminar” os gases de aterro é a destruição térmica, processo em que é queimado o metano e qualquer outro gás (incluindo COV) na presença de oxigénio (contido no ar), produzindo-se dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto e outros gases relacionados. A destruição térmica dos gases de aterro normalmente é feita numa instalação de combustão especialmente projectada.

Pelas inquietações existentes acerca da contaminação do ar, as instalações modernas são projectadas para cumprir rigorosas especificações de operação, que assegurem a destruição total de COV's e de outros compostos similares que podem estar presentes no gás de aterro. Por exemplo, um requisito típico poderia ser uma temperatura de incineração mínima de 815 °C e um tempo de residência de 0,3 a 0,5 s, assim como diversos controlos e uma instrumentação adequada na estação de combustão. Na estão resumidas as especificações para uma instalação de combustão.

Na Tabela 12 estão resumidas as especificações para uma instalação de combustão:

Tabela 12 – Elementos de projecto importantes para os queimadores de gás de aterro selados a nível do solo [4]

Dispositivos	Observações
Indicador e registador de temperatura	Utilizado para medir e registar a temperatura do gás na chaminé do queimador. Quando este está em funcionamento, deve ser mantida uma temperatura de 815 °C ou mais na chaminé segundo o indicador de temperatura, 0,3 s depois de passar através do queimador;
Sistema de re arranque do piloto automático	Para assegurar um funcionamento contínuo;
Alarme de mau funcionamento com sistema automático de isolamento	Utilizam-se o alarme e o sistema de isolamento para isolar o queimador de fornecimento de gás, interromper o ventilador e notificar a alguém responsável sobre a interrupção;
Grelha de ar de combustão automaticamente controlada	Utilizadas para controlar a quantidade de ar combustão e a temperatura da chama;
Escotilhas de amostragem na fonte, com um único acesso seguro	Utilizadas para supervisionar o processo de combustão e para a amostragem das emissões atmosféricas;
Pontos de inspecção	Deve haver suficientes pontos de inspecção para permitir um reconhecimento visual da localização do sensor de temperatura dentro da chama
Tela de calor da chama	Deveria dispor de uma tela de calor em torno do ponto mais alto de reforço para sua utilização durante a amostragem.

5.2. Purificação do gás de aterro

A possibilidade de aproveitar potencialmente o CO₂, contido no gás de aterro, poderá ser feita mediante a separação do CH₄ e do CO₂. A separação de CO₂ e de CH₄ pode ser realizada mediante absorção física, absorção química, e mediante separação por membrana. Nas absorções físicas e químicas, um componente absorve-se preferencialmente utilizando um solvente adequado. A separação mediante membrana implica o uso de uma membrana semipermeável para separar o CO₂ do CH₄. Futuramente serão desenvolvidas membranas semipermeáveis que deixam passar o CO₂, H₂S e H₂O, enquanto é retido o CH₄. Existem membranas em forma de lâminas planas ou em fibras ocas, que já são utilizadas. Para incrementar a eficácia da separação, as lâminas são retorcidas em forma de espiral sobre um meio de suporte, enquanto as fibras ocas são feitas em juntas agrupadas. [4]

5.3. Sistemas para valorização energética do gás de aterro

Este vai passar por um processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica, que por sua vez será convertida em energia eléctrica [6].

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que cada vez mais são uma solução a considerar existindo já diversos exemplos da sua eficaz utilização.

5.3.1. Turbina a gás

As turbinas a gás podem ser classificadas, de acordo com o ciclo de operação, em ciclo fechado e ciclo aberto, sendo o último, o mais comum. No modo aberto o fluido de trabalho é comprimido elevando a pressão. Este processo não necessita de nenhum calor adicional, uma vez que o compressor opera em condições ideais e por isso em regime adiabático, fazendo assim com que o trabalho de compressão aumente a temperatura do ar. Este entra na câmara de combustão e, em contacto com o combustível, reage iniciando o processo de queima. Os gases resultantes da combustão encontram-se a uma temperatura elevada o que leva a uma expansão da turbina gerando energia mecânica. O trabalho útil produzido é calculado pela diferença entre o trabalho da turbina e o consumido pelo compressor. No ciclo fechado os gases que deixam a turbina passam por um permutador de calor onde sofrem um arrefecimento para entrarem novamente no compressor, sendo esta a opção mais eficiente uma vez que há um melhor aproveitamento do calor [6].

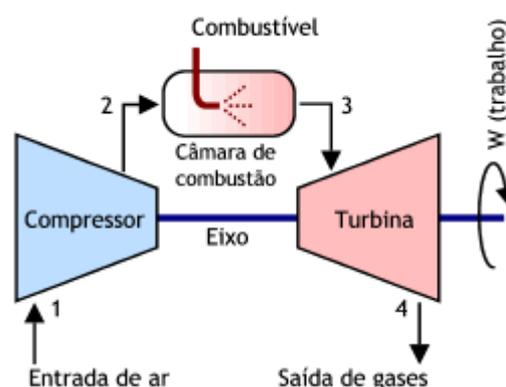


Fig. 20 – Esquema representativo do funcionamento de uma turbina [9]

- Ciclo de ar padrão ideal Brayton

Nas condições anteriormente citadas (ciclo fechado), os sistemas de potência equipados com turbinas a gás operam de acordo com o ciclo de brayton e são compostos por quatro processos. De acordo com as condições ideais do sistema ar-padrão, não considerando as perdas por transferência de calor para o ambiente e as perdas de carga por atrito, além de que o ar escoa a pressão constante através do permutador de calor, os processos no compressor e na turbina são considerados isoentrópicos (adiabático reversível).

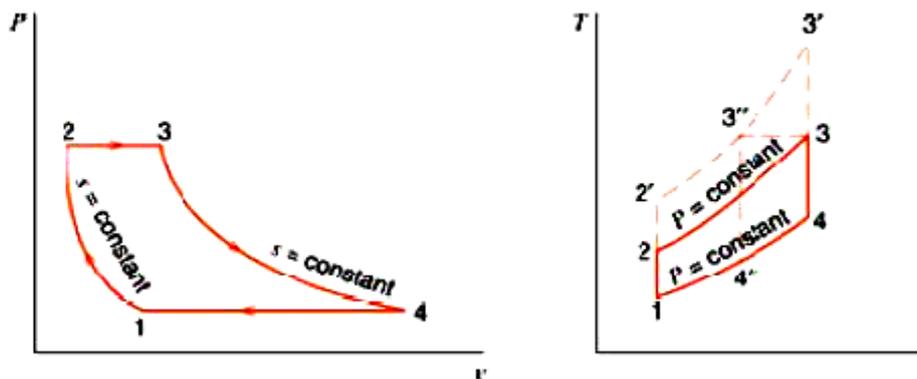


Gráfico 4 – Ciclo de ar-padrão ideal Brayton. [7]

Através do Gráfico 4, podemos identificar os quatro processos:

- 1-2: Compressão isoentrópica no compressor;
- 2-3: Aumento de temperatura a pressão constante;
- 3-4: Expansão isoentrópica na turbina e;
- 4-1: Recuperação de calor a pressão constante.

- Ciclo Brayton com regeneração

No caso dos gases provenientes da turbina serem descarregados directamente para o ambiente, grande quantidade de energia estaria a ser desperdiçada, visto a temperatura de saída destes gases ser normalmente superior à ambiente. Através de um permutador de calor (regenerador) é possível utilizar este potencial energético pré-aquecendo o ar antes de entrar na câmara de combustão, reduzindo a quantidade de combustível a ser queimado

O ciclo ar-padrão Brayton com regenerador é apresentado na Fig. 21, onde são visíveis todas as etapas. O gás deixa a turbina é arrefecido do estado 4 ao estado Y e o ar que deixa o compressor é aquecido do estado 2 ao estado x (Gráfico 5). Ainda é de referir que para que ocorra o aumento da temperatura do estado x ao estado 3 é necessária a transferência de calor de uma fonte externa. [6]

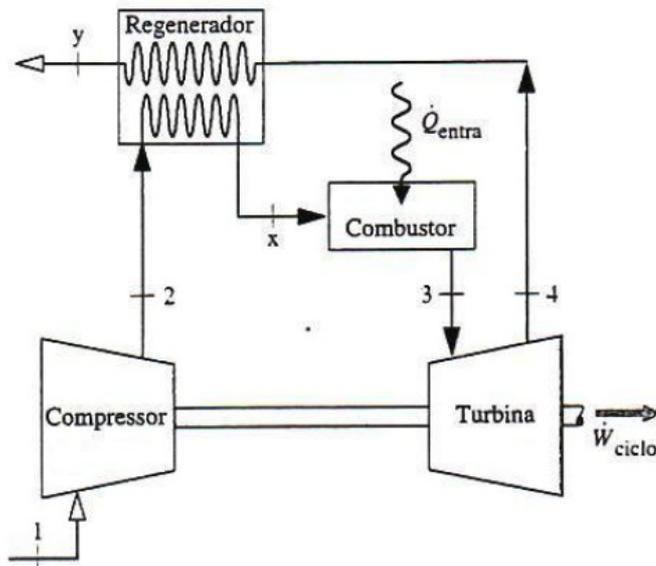


Fig. 21 - Ciclo de ar-padrão de turbina a gás regenerativa [7]

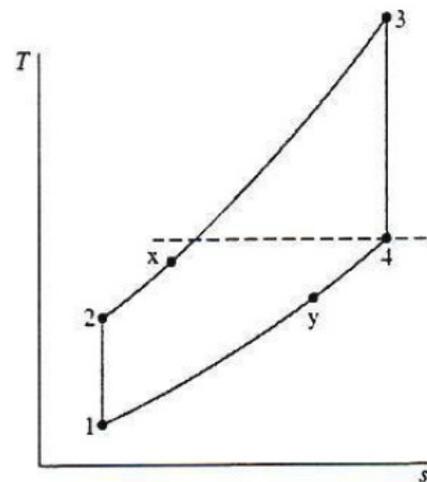


Gráfico 5 - Diagrama $T \times s$ do sistema regenerativo[7]

5.3.2. Microturbinas

As microturbinas possuem o mesmo princípio de funcionamento das turbinas a gás de circuito aberto, apresentando a possibilidade de gerar electricidade em pequena escala. Apresentam alta fiabilidade, simplicidade de projecto, são compactas, de fácil instalação e manuseio. Foram, inicialmente, construídas para aplicações em transportes como motores de autocarros e turbinas de aviões e, posteriormente, aplicadas em sistemas de geração de energia eléctrica [6].

A redução no consumo de combustível e máxima geração de potência, eleva a eficiência dos ciclos. Sendo o arrefecimento do ar de combustão realizado à entrada do compressor, obtendo-se, desta forma, melhor eficiência e potência destes ciclos, já que o ar a elevadas temperaturas apresenta menor densidade, reduzindo a massa de ar a ser fornecida à turbina.

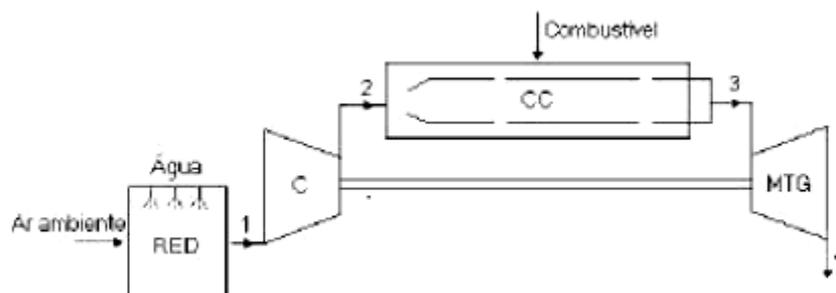


Fig. 22 – Microturbina baseada no ciclo Brayton aberto [6]

A figura anterior mostra um possível funcionamento de uma microturbina, inicia-se com o pré-tratamento (arrefecimento e humedificação) (RED) antes de entrar no compressor (1). Na saída deste o ar é insuflado para a câmara de combustão (CC) onde é queimado com o combustível gerando os produtos de combustão que sofrerão expansão na microturbina a gás (GMT) gerando trabalho de eixo [6].

5.3.3. Motores de combustão interna

O motor de combustão interna é assim designado por realizar trabalho de combustão de uma mistura de vapor e combustível no interior de um cilindro. O trabalho mecânico é gerado com a transformação do movimento rectilíneo do pistão em circular por meio de uma cambota. É um mecanismo amplamente utilizado, por ser um processo prático e apresentar grande durabilidade [6].

Em 1876, o engenheiro alemão chamado Nikolaus Otto desenvolveu um motor com o conceito de 4 tempos que foi introduzido no mundo em 1878, e até hoje é conhecido como motor de ciclo Otto. No ano de 1892, Rudolph Diesel, eliminou a necessidade de um circuito eléctrico para o início da combustão, criando um motor semelhante ao de ciclo Otto em que o ar é comprimido a alta pressão sendo a sua temperatura elevada de modo a promover a auto-ignição do combustível, sendo este motor designado de ciclo Diesel.

O ciclo Otto e o ciclo Diesel são muito parecidos, a diferença principal está no processo de adição de calor, uma vez que o primeiro ocorre a volume constante (isocórico) e o segundo ocorre a pressão constante (isobárico).

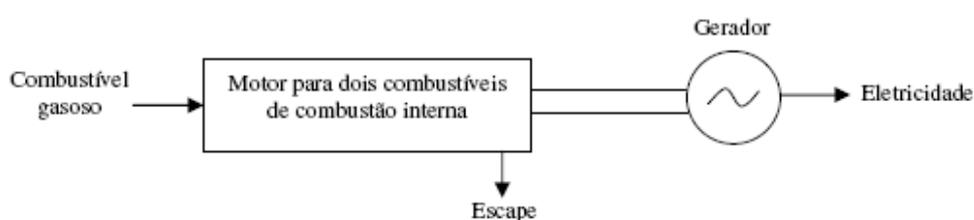


Fig. 23 - Diagrama de fluxo esquemático de um motor de combustão interna

- Motor de Ciclo Diesel

São aqueles onde o combustível é injectado no final da compressão do ar. Como a pressão do combustível é maior que a do ar aquecido, ocorre a combustão por auto-ignição. Este processo não se limita apenas a combustíveis líquidos, estando a ser produzidos actualmente motores conhecidos por combustível misto ou conversível que utilizam gás como combustível no processo diesel.

Na figura seguinte estão representados os quatro ciclos do motor diesel. No primeiro estágio (A) o ar é aspirado através da válvula de entrada para o interior do cilindro. O pistão então sobe comprimindo o ar do cilindro durante o segundo estágio (B) e a temperatura elevada. A injeção do combustível a alta pressão ocorre no terceiro estágio (C), onde ao entrar em contacto com o ar comprimido a alta temperatura promove a combustão espontânea e força o pistão para baixo. No último estágio (D) os gases são libertados pela válvula de exaustão pelo movimento de subida do pistão.

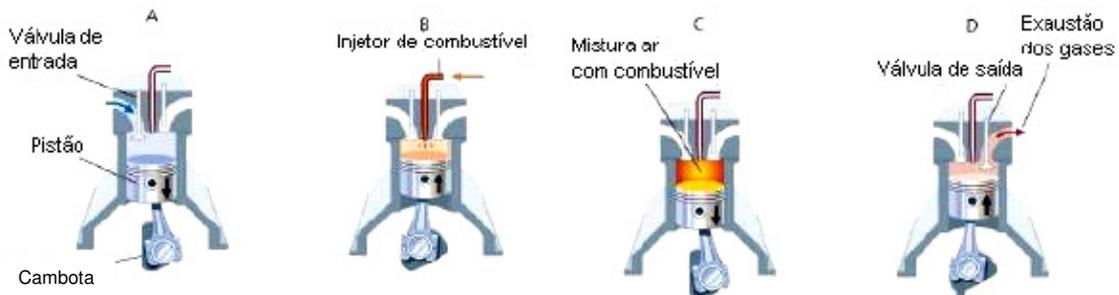


Fig. 24 – Funcionamento do motor Diesel [6]

- Motor de Ciclo Otto

Caracterizam-se por aspirar a mistura ar-combustível antes de ser comprimida no interior dos cilindros e a combustão da mistura é dada pela faísca produzida numa vela de ignição. Na figura seguinte estão representados os quatros tempos do motor Otto, assim designado por o seu funcionamento ocorrer sequencialmente em 4 etapas.

Primeiro tempo: abertura da válvula de admissão através da qual é injectada no cilindro a mistura ar-combustível e o pistão é empurrado para baixo com o movimento da cambota.

Segundo tempo: Fecho da válvula de admissão e compressão da mistura e à medida que o pistão sobe (antes de chegar à parte superior) a vela gera uma faísca.

Terceiro tempo: explosão da mistura e expansão dos gases quentes formados na explosão. Esta expansão promove uma força que faz com que o pistão desça.

Quarto tempo: Abertura da válvula de escape através da qual os gases são expulsos do pistão.

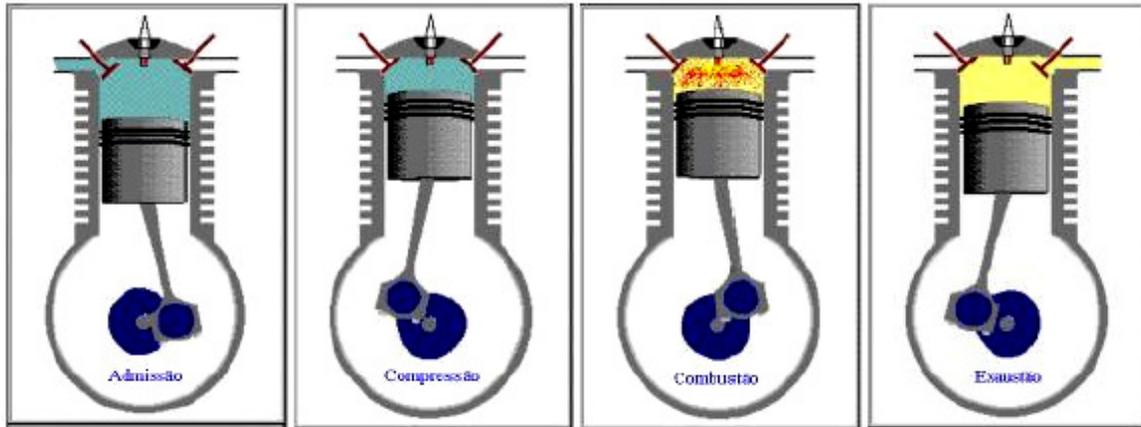


Fig. 25 – Funcionamento do motor Otto

A eficiência térmica de um motor de ciclo Otto é função apenas da taxa de compressão em relação directamente proporcional, como se pode verificar no Gráfico 6. Seria por isso interessante que os motores de combustão interna possuíssem razões de compressão elevadas, no entanto é estabelecido um limite superior de compressão para motores de ciclo Otto devido à possibilidade de auto-ignição, que ocorre caso a temperatura da mistura não queimada se torne muito alta antes que a mistura seja consumida pela frente da chama. A auto-ignição pode causar ondas de alta pressão que levaria à perda de potência e danos no motor.

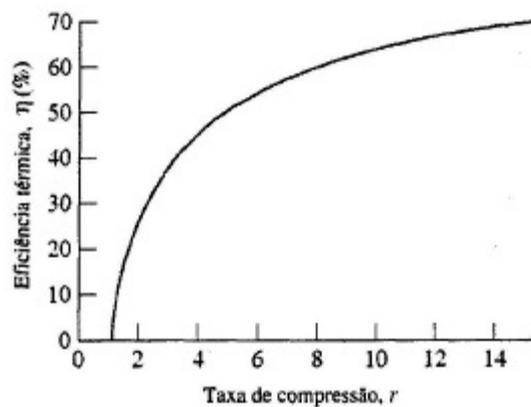


Gráfico 6 – Eficiência térmica do ciclo de ar padrão frio Otto [7]

5.3.4. Comparação entre as diversas tecnologias de valorização

Após terem sido apresentadas algumas tecnologias que se podem utilizar na valorização do biogás interessa saber qual é que se adequa a cada situação, o que pode ser avaliado pela informação contida na Tabela 13.

É possível perceber que os motores de combustão interna (MCI) possuem uma maior eficiência de conversão eléctrica, porém as turbinas a gás podem apresentar um aumento no seu rendimento quando operadas no sistema de cogeração (produção de calor e electricidade). Nas turbinas e microturbinas, a taxa de emissão de NOx, gás com elevado potencial de efeito de estufa, é muito menor quando comparada com a taxa de emissão dos MCI, sendo vantajosa a utilização deste tipo de tecnologia.

Tabela 13 – Comparação das emissões entre as tecnologias de valorização [6]

Tecnologias de valorização	Potencia Instalada	Rendimento Eléctrico	Emissões de NOx (ppm)
Motores a gás (Ciclo Otto)	30 kW - 20 MW	30% - 40%	250 - 3000
Turbinas a gás (médio porte)	500 kW - 150 MW	20% - 30%	35 - 50
Microturbinas (pequeno porte)	30 kW - 100 kW	24% - 28%	<9

Hoje em dia, a maioria dos aterros opera com projectos de recuperação de energia com Motores CI uma vez que são mais económicos, isto quando a quantidade de gás natural é suficiente para produzir 1 a 3 MWh, sendo as turbinas mais económicas para locais com produção acima de 3 MWh. As vantagens do MCI incluem comparativamente capital de custos baixos, eficiência, um alto grau de padronização, e facilidade de se transportar de um lado para o outro do aterro. Uma das desvantagens dos MCI são as emissões.

Existem várias desvantagens económicas no uso de turbinas a gás subalimentadas.

A título de exemplo, de acordo com a gestão de Resíduos da América do Norte, turbinas a gás subalimentadas, tipicamente têm perda de energia residual de 17% da saída bruta. Para MCI, esta comparação é de 7%. A diminuição de seu desempenho faz com que a torne inferior comparando com MCI, e dificuldades podem ocorrer quando são operadas com cargas menores do que a carga completa. Outros problemas que as turbinas podem apresentar são: câmaras de combustão fundida, corrosão, e acumulação de depósitos nas lâminas da turbina. Deste modo, MCI são actualmente a opção mais favorável para projectos de conversão de energia de gás de aterro e tendo maior aplicação do que alguma das outras opções.

Actualmente, as células de combustível vão sendo cada vez mais atractivas devido à sua alta eficiência energética, impactos de emissões dispensáveis, e convenientes para todos os tamanhos de aterro, apesar de alguns estudos sugerirem que as células de combustível seriam mais competitivas em projectos pequenos (menor que 1 MW) e médios (menor que 3 MW). Somando-se a isto o baixo custo de operação e manutenção. No entanto, desvantagens económicas e técnicas tornam as células de combustível não competitivas com as técnicas mais convencionais. Estas incluem um custo elevado, para se projectar um processo de limpeza do gás de aterro que possa remover os constituintes deste (células de combustível necessitam de um maior grau de purificação do gás do que as outras), e o elevado custo da própria célula de combustível. Por causa dos avanços contínuos da tecnologia de células de combustível e a possibilidade futura de um maior rigor no controlo de emissões gasosas, que tornam outras tecnologias mais dispendiosas, alguns estudos estimam que as células de combustível se tornarão mais competitivas por volta do fim deste século. De acordo com um estudo feito pelo Instituto de Pesquisa de Energia Eléctrica (EPRI – Electric Power Research Institute), se sistemas individuais fossem usados em aterros, 6.000 MWh de electricidade poderiam ser gerados do gás de aterro. Um outro estudo preparado pela EPA sugere que, aproximadamente, o total de energia produzida, gerada em cerca de 7.500 aterros, usando células de combustível de recuperação de energia, pudesse ser de 4.370 MWh.

5.3.5. Vantagens ambientais da Recuperação Energética do biogás

Além dos seus componentes principais, metano e dióxido de carbono, o biogás contém concentrações residuais de compostos orgânicos voláteis (COV) Compostos Orgânicos Não-Metano (NMOC's), e produtos tóxicos (ex., benzeno, tetracloreto de carbono, e clorofórmio) considerados poluentes aéreos perigosos (PAP). Deste modo, o processo de recolha e combustão de biogás (através das tecnologias apresentadas anteriormente) resulta numa redução da emissão de metano, e restantes gases de um aterro. No entanto, o processo de combustão também resulta no aumento da emissão de poluentes do ar, tais como óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO) e partículas.

Como o gás metano possui um potencial de aumento do efeito de estufa 23 vezes maior que o CO₂ considerando um período de referência de 100 anos [5], a conversão desse gás em CO₂ na sua combustão em motores ou outro conversor de energia, ocasiona uma redução no potencial de aquecimento global do aterro. Isso possibilita que o uso energético ou mesmo uma queima controlada estejam previstos no Protocolo de Quioto como Mecanismo das melhores técnicas disponíveis (MTD).

A título de curiosidade, apesar do metano e o dióxido de carbono serem considerados gases com efeito estufa, o dióxido de carbono presente no biogás não se enquadra nessa categoria: é considerado “biogênico”, ou seja, parte natural do ciclo do carbono [5] já não acontecendo o mesmo com o metano.

Assim a implantação de um projecto de aproveitamento energético do biogás no aterro sanitário pode promover a redução do potencial de aquecimento global decorrente da emissão descontrolada de gás metano, no entanto não consegue eliminar por completo os seus efeitos negativos sobre o ambiente.

6. Caso em estudo

6.1. Características

O aterro de resíduos sólidos urbanos da Maia, anexo à central de Valorização Energética, pertence a uma infra-estrutura que engloba a unidade de incineração, um aterro de cinzas e escórias e o aterro em estudo de RSU. Este entrou em operação em 2001, e possui uma área útil de 6,3 hectares sendo apenas utilizado para deposições de excedentes em momentos de impossibilidade de tratamento em qualquer um dos pólos de tratamento industrial implementados pela Lipor. Assim, as escórias e as cinzas, após um processo de inertização, são depositadas, separadamente, em dois monoaterros localizados no alvéolo norte, numa área de cerca de 3 ha. No alvéolo sul são colocados os RSU, funcionando como um fusível de todo o sistema, recebendo os resíduos resultantes de paragens das unidades de tratamento instaladas e sempre que não seja possível a sua valorização por qualquer outra forma de tratamento.



Fig. 26 – Imagem aérea do aterro da Maia

O confinamento técnico possui também um Sistema Integrado de Qualidade, Ambiente e Segurança já certificado pelas normas internacionais NP EN ISO 9001, NP EN ISO 14001 e OHSAS 18001/NP 4391.

Relativamente ao controlo e protecção ambiental, embora anterior à publicação do Decreto-Lei nº 152/2002, o aterro foi projectado de acordo com as Directivas



Fig. 28 – Imagem das acessibilidades ao aterro (Lipor II)

A infra-estrutura situa-se numa zona central, tendo em conta a localização dos municípios que estão abrangidos pela Lipor, estando por isso próximo dos centros produtores de resíduos, o que permite reduzir os custos de transporte, não dispondo de uma elevada concentração urbana nas suas imediações e apresentando características topográficas e paisagísticas favoráveis à operação do aterro, evitando problemas sociais e ambientais.



Fig. 29 – Planta representativa da localização dos alvéolos

6.3. Modo de funcionamento e equipamentos existentes

Como já foi referido anteriormente o aterro em estudo (alvéolo sul) Fig. 30, é o último recurso de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos da área de influência da Lipor.



Fig. 30 – Pormenor do alvéolo sul durante a exploração [10]

O aterro só entra em funcionamento em alturas programadas para a manutenção da central de valorização energética ou aquando da ocorrência de alguma avaria, por norma a central de valorização tem uma paragem programada em intervalos de 7/8 meses, levando isto a que a utilização do aterro se faça durante um determinado período (que em média são 3/4 semanas) duas vezes ao ano, excepcionalmente pode haver uma única paragem durante o ano (2007), concluindo assim que este vai estar a ser explorado activamente durante cerca de 6-8 semanas por ano. A colocação dos resíduos é feita por áreas e taludes. Os resíduos recepcionados são inspeccionados e encaminhados para a área do aterro em exploração, onde de seguida são posicionados e compactados através da utilização de compactadores pés de carneiro equipados com lâmina de arrasto. (Fig. 31) Durante esta fase a tela de cobertura da área em exploração é removida para que não seja danificada, no restante período esta está colocada de forma a desviar as águas pluviais e evitar fugas de biogás.



Fig. 31 - Compactador pés de carneiro com lâmina de arrasto [10]

Relativamente ao sistema de recolha e queima do biogás, durante os períodos de exploração vai ser desligado por questões de segurança.

Este é composto por 11 poços de drenagem do biogás que durante a exploração utilizam cabeças amovíveis que serão, durante a selagem, substituídas por cabeças terminais. Os poços estão ligados a uma estação de regulação do caudal que por sua vez está ligado ao sistema de queima do biogás. Na figura seguinte estão assinalados os poços existentes (circulo vermelho) e o queimador (circulo azul)

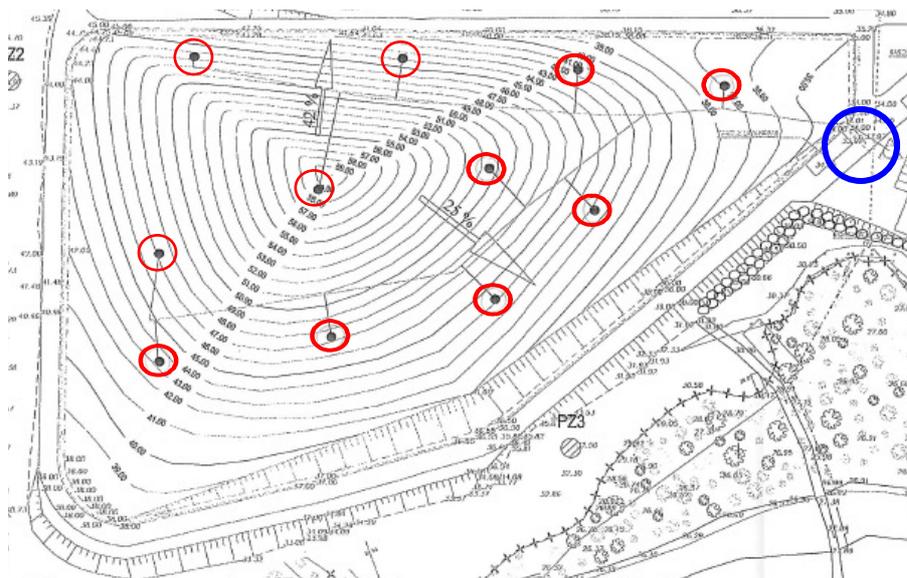


Fig. 32 - Planta de localização dos poços de biogás e do queimador do aterro sanitário da Maia (não se encontra à escala)

Os poços foram dimensionados durante a fase de projecto tendo sido estipulado que para este tipo de aterro, seria necessário um raio de influência de 25 metros e estão ligados à estação de regulação do caudal por um tubo em PEAD.



Fig. 33 – Pormenor da estação de regulação do caudal e da tubagem de ligação entre os poços

É na estação de regulação do caudal que podem gerir a contribuição dos poços para que o biogás tenha uma composição favorável para a queima e é onde se faz a remoção dos condensados formados durante a drenagem do biogás.

O biogás é recolhido activamente através de uma bomba centrífuga que por sua vez encaminha os gases para o queimador. Este possui uma capacidade máxima de 300 Nm³/h e tem uma potência térmica de 1500 kW e 7 metros de altura. [11]



Fig. 34 – Pormenor do queimador

6.4. Modelo teórico para o cálculo da produção de biogás

Modelo utilizado e estudo teórico realizado para a estimativa do biogás disponível no aterro sanitário da Maia

O Modelo e Estudo Teórico apresentados têm por objectivo estimar o potencial de biogás produzido no Aterro Sanitário da Maia, usando uma modelação computacional baseada na informação disponibilizada.

A abordagem adoptada por este Estudo Teórico terá de ter em conta a revisão das condições do local, incluindo fundamentalmente o histórico da quantidade de resíduos depositados, sem esquecer a sua composição.

O modelo proposto para a estimativa do potencial de biogás produzido pela degradação dos resíduos depositados no Aterro Sanitário da Maia consiste na aplicação de um modelo matemático criado pela EPA (Environmental Protection Agency), nomeadamente pelo CATC (Control Air Technology Center) e pelo NRMRL (National Risk Management Research Laboratory), e denominado de LandGEM.

O LandGEM

O modelo seleccionado para a estimativa da produção do biogás – LandGEM, Landfill Gas Emissions Model - define uma curva de produção em função de parâmetros referentes à capacidade potencial de geração de gás metano pelos resíduos depositados (L_0) e à razão de geração de gás metano (k), agregados a uma função exponencial que tem em consideração a média de resíduos dispostos por ano na área do aterro sanitário, as datas nas quais estes resíduos foram depositados, a vida do aterro e o tempo necessário para que sejam alcançadas as condições anaeróbias de modo a promover a produção de gás metano.

É portanto um modelo em que se adoptam os parâmetros compatíveis com o clima da região e o tipo de resíduos depositados. O método calcula, para além da quantidade de metano e dióxido de carbono, concentrações residuais de 48 tipos de gases presentes no biogás, entre eles compostos orgânicos voláteis (COV), poluentes aéreos perigosos (PAP) e outros constituintes.



Fig. 35 – Software usado na modelação da produção de biogás

Esta metodologia é considerada comum e extremamente útil para a estimativa de gás emitido por aterros sanitários. É de realçar, que surge referenciada nos projectos envolvidos no CDM (Clean Development Mechanism) - prevê que reduções de emissão ou remoções de CO₂ atmosférico promovidas pelos Países do Anexo I¹³ e realizadas em países em desenvolvimento, poderão ser comercializadas e contabilizadas para o cumprimento das metas de redução dos Países do Anexo I - ao abrigo do Protocolo de Quioto. É desta forma uma metodologia criada, aprovada e posta em prática por entidades credíveis no mercado das tecnologias e *know-how* ambientais.

O modelo proposto baseia-se na aplicação de uma Função Exponencial de Primeira Ordem de degradação dos resíduos depositados (correspondente a uma cinética de degradação de primeira ordem), que assume que a geração de biogás alcance o ponto máximo após um intervalo de tempo que representa o período antes da geração de metano. Desta forma, o modelo supõe um intervalo de tempo de um ano entre a deposição dos resíduos e a geração de biogás. Após um ano, prevê-se que a geração de biogás decresça exponencialmente à medida que é consumida a fracção orgânica rapidamente biodegradável do resíduo.

Para a utilização correcta deste modelo, é requerido o conhecimento do histórico dos resíduos (ou, no mínimo, da quantidade de resíduos depositados e a data de abertura do aterro sanitário).

¹³ Alemanha, Austrália, Áustria, Bielo-Rússia, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Europeia, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Estónia, Rússia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, Irlanda do Norte, República Checa, Roménia, Suécia, Suíça, Turquia e Ucrânia

Para locais com índices de deposição conhecidos ou estimados, que se encontrem numa área geográfica com características semelhantes, o modelo estima a razão de geração de biogás num dado ano usando a seguinte equação (eq. 24):

Q_M índice de geração de biogás (m³/ano)

$\sum_{i=1}^n$ Somatório desde o ano de abertura +1 (i=1) até ao ano de projecção (n)

M_i Massa de resíduos sólidos depositados no ano i

t_i Idade dos resíduos depositados durante determinado ano

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2k L_0 M_i (e^{-kt_i})$$

eq. 24

L_0 Potencial máximo de geração de Metano (m³/ton)

Representa a quantidade total de metano que uma unidade de massa de resíduos irá produzir se for dado tempo suficiente. O L_0 é função do conteúdo orgânico do resíduo. O valor de L_0 é teoricamente independente da humidade, no entanto comparados com os locais húmidos, os valores de L_0 em locais secos são suprimidos. Este facto indica que, abaixo de um certo limite de humidade o L_0 poderá ser limitado.

k Taxa de degradação do Metano (1/ano)

É função do teor de humidade do resíduo, da disponibilidade de nutrientes, do pH e da temperatura. Reflecte a fracção de resíduos passível de ser degradada e produzir metano.

Critérios Adoptados para Avaliação do Aterro Sanitário de Maia

Recorrendo ao modelo apresentado anteriormente para estimar os índices de produção e recuperação de biogás projectados para o Aterro Sanitário da Maia, foram adoptados os seguintes critérios e pressupostos:

Histórico da Deposição de Resíduos

Tendo como finalidade atingir uma estimativa de produção de biogás o mais próxima da realidade possível, o estudo foi considerado desde 2001 a 2011 (data limite mínima de encerramento), e considerando uma taxa de recuperação de biogás de 50%, optando assim pela criação de um cenário pessimista.

Para o cálculo foram consideradas as quantidades de resíduos da Tabela 14:

Tabela 14 – Quantidades de resíduos depositadas (ton/ano)^{14, 15}

Ano	Quantidades depositadas (ton/ano)
2001	19.110
2002	38.424
2003	24.857
2004	38.340
2005	51.305
2006	86.697
2007	27.188
2008	63.000
2009	63.000
2010	63.000
2011	63.000

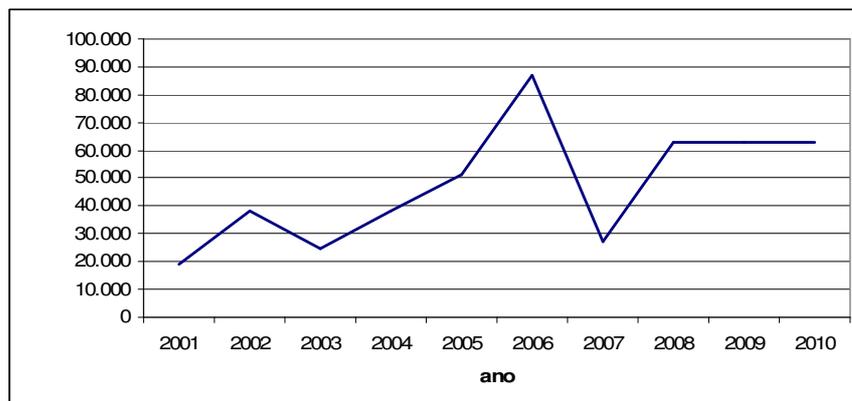


Gráfico 7 – Variação da quantidade de resíduos depositada ao longo do tempo

Conteúdo de Metano

Admite-se que o conteúdo de metano presente no Biogás do Aterro Sanitário é de 50%;

Constante Cinética, Taxa de Degradação de Metano (K)

Foi assumida a constante recomendada para os Aterros Sanitários Portugueses, que neste caso é de $0,04 \text{ ano}^{-1}$; este valor é função da precipitação anual média, que influencia directamente as condições de humidade do aterro;

Potencial de Recuperação de Metano (L_0)

Foi assumida a constante indicada para os Aterros Sanitários Portugueses, que neste caso é de $100,00 \text{ (m}^3\text{/ano)}$;

Taxa de Recuperação de Biogás

A taxa de recuperação de biogás traduz a percentagem de biogás captado relativamente à quantidade total de biogás que é produzido no aterro sanitário.

Esta constante está directamente relacionada com a fracção da massa de resíduos que está sujeita à drenagem de biogás do aterro sanitário. Este valor varia também em função de diversos factores e poderá encontrar-se num intervalo que varia entre 0% (para um sistema de drenagem ausente) e 100% (para um sistema de drenagem num aterro

¹⁴ Ano onde apenas existiu uma paragem da central de valorização energética

¹⁵ A partir de 2007 estima-se que o aterro permita depositar cerca de 250 000 ton, este valor a dividir pelos anos em causa corresponde a cerca de 63 000 ton/ano.

fechado sujeito a uma excelente construção e operação). No caso em estudo, estimou-se uma taxa de recuperação de biogás de 50%.

A taxa de recuperação do biogás é baseada em critérios técnicos de engenharia, e tem em consideração diversos aspectos, incluindo:

- Se o aterro é fechado ou activo;
- Tipo de construção dos poços de drenagem e construção do sistema de biogás;
- Nível de operação;
- Rapidez com que as canalizações e os poços (e outros equipamentos) são reparados;
- Nível de lixiviado nos poços;
- Se está selado, assegurar que não há rompimentos de tela nos taludes provocados pelo desmoronamento de terras.

Estimativa da Produção de Biogás

Como já foi referido anteriormente, recorreu-se a um modelo criado pela EPA (LandGEM), que permite estimar a produção de biogás gerado a partir da decomposição dos resíduos depositados em aterro sanitário.

Introdução dos dados no programa:

Os dados a introduzir no programa de modelação da geração do biogás incluem os anos de abertura e encerramento do aterro, as quantidades de resíduos depositados em cada ano, bem como os parâmetros do modelo anteriormente descritos, L_0 , K , a taxa de recuperação de metano.

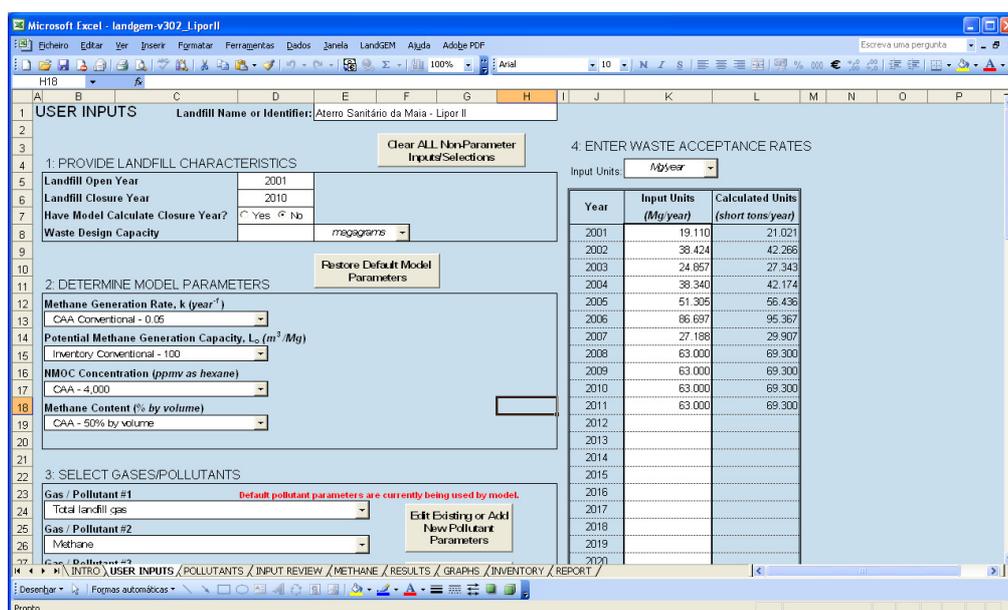


Fig. 36 - Ecrã de introdução de dados do Software LandGEM

INPUT REVIEW		Landfill Name or Identifier: Aterro Sanitário da Maia - Lipor II	
LANDFILL CHARACTERISTICS			
Landfill Open Year	2001		
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2011		
Actual Closure Year (without limit)	2011		
Have Model Calculate Closure Year?	No		
Waste Design Capacity		<i>megagrams</i>	
MODEL PARAMETERS			
Methane Generation Rate, k	0,040	<i>year⁻¹</i>	
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	85	<i>m³/Mg</i>	
NMOC Concentration	4.000	<i>ppmv as hexane</i>	
Methane Content	45	<i>% by volume</i>	
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	(Mg/year)	(short tons/year)	
2001	19.110	21.021	
2002	38.424	42.266	
2003	24.857	27.343	
2004	38.340	42.174	
2005	51.305	56.436	
2006	66.697	75.367	
2007	27.188	29.907	
2008	63.000	69.300	
2009	63.000	69.300	
2010	63.000	69.300	
2011	63.000	69.300	
2012	0	0	
2013	0	0	
2014	0	0	
2015	0	0	
2016	0	0	
2017	0	0	

Fig. 37 - Ecrã de dados assumidos no simulador

Após a introdução dos dados no programa é possível extrair a produção de biogás a partir dos resíduos depositados (ver Tabela 15).

Tabela 15 - Simulação do biogás e metano gerado no aterro

Ano	Biogás	Metano
	(m³/ano)	(m³/ano)
2001	0,00	0,00
2002	0,00	0,00
2003	141818,24	63818,21
2004	421411,59	189635,22
2005	589358,12	265211,15
2006	850780,24	382851,11
2007	1198168,52	539175,83
2008	1794588,81	807564,97
2009	1925991,25	866696,06
2010	2318011,56	1043105,20
2011	2694660,54	1212597,24
2012	3056540,89	1375443,40
2013	3404231,72	1531904,27
2014	3270749,88	1471837,45
2015	3142501,95	1414125,88
2016	3019282,68	1358677,21
2017	2900894,91	1305402,71
2018	2787149,20	1254217,14
2019	2677863,52	1205038,58
2020	2572862,98	1157788,34
2021	2471979,58	1112390,81
2022	2375051,88	1068773,35
2023	2281924,76	1026866,14
2024	2192449,21	986602,15
2025	2106482,05	947916,92
2026

Análise face aos resultados teóricos obtidos

Analisando a tabela anterior e examinando a evolução da estimativa da captação do biogás gerado a partir dos resíduos depositados no Aterro Sanitário da Maia é possível extrair as seguintes conclusões:

A produção de biogás no aterro atingirá o máximo de produção no ano de 2012, ocorrendo um ano após a selagem do aterro.

6.5. Caracterização e quantificação do biogás produzido

6.5.1. Caracterização do biogás¹⁶

Desde o início de actividade, o aterro tem sido alvo de um rigoroso sistema de controlo, estando instituído todo um procedimento interno que permite identificar todas as etapas da monitorização estando esta dividida em 3 fases:

- Análise da produção de biogás

Assim a monitorização dos poços e do efluente de saída do queimador é realizada por uma empresa subcontratada e são realizados de acordo com os parâmetros e frequência indicados em documentação interna, ver tabelas seguintes;

Tabela 16 – Monitorização da emissão de gases do aterro [10]

Parâmetro	Unidades	Frequência da monitorização	
		Fase de exploração	Fase de manutenção após encerramento
Volume	m ³		
Velocidade	m/s		
Pressão atmosférica	mb		
Metano (CH ₄)	%	Mensal	Semestral
Dióxido de Carbono (CO ₂)	%		
Oxigénio (O ₂)	%		
Azoto (N ₂)	%		

Tabela 17 – Monitorização da emissão de gases do sistema de queima [10]

Parâmetro	Frequência da monitorização	
	Fase de exploração	Fase de manutenção após encerramento
Monóxido de Carbono (CO)		
Dióxido de Enxofre (SO _x)		
Dióxido de Azoto (NO _x)	Semestral	Semestral
Metano (CH ₄)		
Dióxido de carbono (CO ₂)		

¹⁶ A informação apresentada de seguida foi gentilmente cedida pela CITRUP – empresa responsável pela exploração do aterro sanitário em estudo.

Os locais de amostragem são definidos pela localização dos respectivos poços de captação (ver anexo 2).

O operador deve verificar o estado de calibração do equipamento de medição antes de proceder às medições (ver anexo 3).

O operador da CITRUP regista as % obtidas para cada um dos compostos (CO₂, O₂, CH₄, CO, ...) no registo de monitorização. Se for tecnicamente possível, é feita a monitorização aos poços abertos (que ainda não estejam ligados à estação de regulação).

- Optimização da rede de drenagem;

A quando da medição mensal das % e caso o queimador se encontre em funcionamento:

- Verificar a tamponização dos poços para evitar entrada de O₂ na rede de drenagem;
- Verificar se há acumulação de condensados na rede (se existirem, verificam-se as pendentes de modo a escoar os condensados para o separador de condensados).

Diariamente, caso o queimador se encontre em funcionamento, verificar a oscilação de pressão de cada poço, por observação dos manómetros que estão na estação de regulação;

Para reforçar a tamponização colocar argila aumentando o raio em volta do poço ou reforçar a que já está colocada;

Se o caudal for baixo e se houver poços fechados, proceder à abertura destes;

- Optimização da abertura de poços.

Caso o queimador se encontre em funcionamento ou algum poço vá ser ligado à estação de regulação ou quando se inicia o funcionamento do queimador após um período prolongado de paragem deve-se fazer a seguinte análise:

- Para uma boa optimização da queima, o caudal mínimo deve ser de 60 m³/h de biogás e a temperatura de queima aproximadamente de 1000 °C;
- Deve ser ajustada a abertura da regulação dos poços e registar os seguintes dados no mapa de registos de funcionamento do queimador:
- Os parâmetros obtidos no medidor de biogás relativamente ao CH₄, CO₂ e O₂;
- O caudal de biogás;
- A pressão em cada poço que está ligado à estação de regulação;
- A temperatura.

(Este processo deve ter em conta que a abertura do poço vai depender da quantidade de oxigénio e de metano presente no respectivo poço e a pressão relativa)

Desde o início de actividade, o aterro tem sido alvo de um rigoroso sistema de controlo. Este é visível através do sistema de monitorização do biogás produzido. Todo este controlo é fundamental para melhor percebermos a percentagem de metano produzida e conhecermos os restantes gases libertados e que devem ser controlados.

Na tabela seguinte podemos ver toda a monitorização do biogás produzido no aterro da Maia durante o ano de 2007.

Tabela 18 – Monitorização do biogás do aterro da Maia - 2007

	jan	fev	março	abril	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media
CH4 (%)	42,63	47,73	47,67	47,25	59,20	58,80	37,53	37,27	30,82	46,57	49,64	54,26	47,46
O2 (%)	5,17	3,33	4,20	3,46	0,18	0,46	8,19	8,91	9,78	3,16	1,98	1,54	3,40
H2S (ppm)	94,09	108,88	105,06	91,51	138,02	145,32	110,9	105,54	54,34	59,50	62,71	83,88	99,57
CO2 (%)	28,91	33,00	32,36	33,35	40,40	39,40	25,53	23,07	20,53	35,00	33,76	36,11	33,18
N2 (%)	23,19	15,31	15,72	16,77	0,82	1,26	29,5	26,13	38,75	15,24	14,90	8,09	15,52
H2 (ppm)	234,60	204,30	198,56	94,50	91,71	120,00	338,4	333,2	63,60	142,86	89,25	73,89	131,43

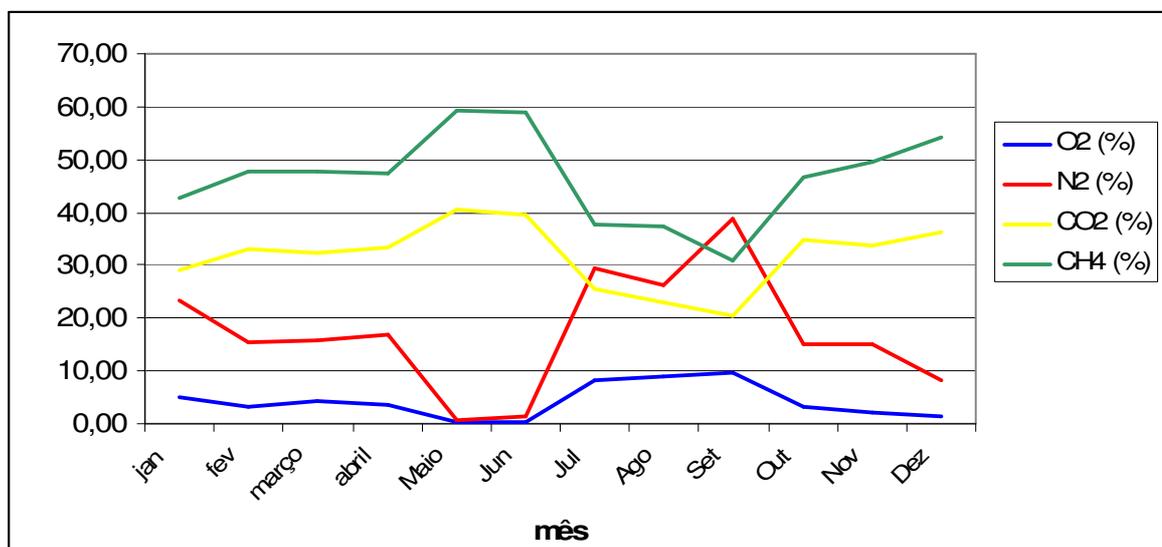


Gráfico 8 – Variação da constituição do biogás ao longo dos meses - 2007

6.5.2. Produção real de biogás

Relativamente à produção real de biogás, esta tem apresentado valores bastante inferiores ao previsto pelo simulador, pensando-se que esta ocorrência esteja relacionada com diversos factores como:

- Existência de fugas devido ao facto de o aterro ainda se encontra em exploração e nem todos os poços se encontrarem ligados ao sistema de recolha (ver Fig. 38);
- A utilização periódica do aterro implica que a deposição seja faseada, levando a que por períodos longos de tempo este fique fechado, mas não com o sistema mais adequado para impedir a ocorrência de fugas. É colocada uma tela de polietileno para impedir a infiltração das águas pluviais;
- Durante o período de exploração, cerca de 7/8 semanas por ano, a cobertura é removida o que propicia a migração do biogás para a atmosfera e a entrada de ar;
- Pela análise da tabela anterior com as % de cada constituinte do biogás e comparando com as percentagens normais de um gás de aterro (ver Tabela 4) verifica-se uma % superior de oxigénio, sendo este um elemento indesejado na actividade anaeróbia desenvolvida pelas bactérias;
- A diminuição, ocorrida nos últimos anos, de deposição de matéria orgânica biodegradável (MOB), estando este facto relacionado com o início de actividade da central de valorização orgânica, que retira uma fracção significativa da MOB dos resíduos tratados por este sistema.

Assim, desde o início de actividade do aterro, foram recolhidos 306.161 m³ de biogás ao invés dos 7.787.381 m³ previstos pelo programa, representando este valor apenas 4% do previsto.

Na figura seguinte está representada toda a planta do aterro, onde é possível observar a localização dos diversos poços e do queimador (quadrado azul). Foram dimensionados 11 poços estando neste momento apenas 7 ligados (círculos vermelhos) à conduta principal e, por isso, apenas o biogás drenado por estes poços está a ser encaminhado para o queimador. Os poços existentes têm uma profundidade média de 50 metros e um raio de influência de estimado em 25 metros.

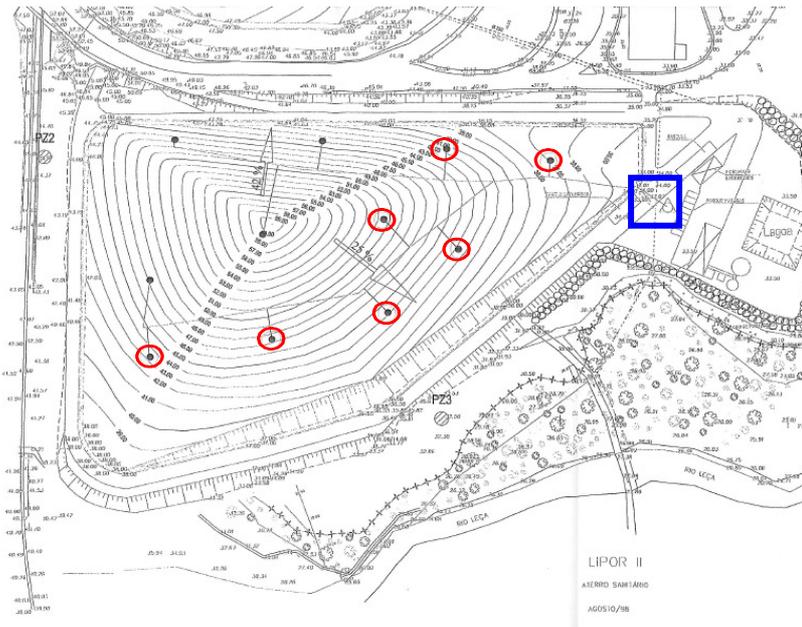


Fig. 38 – Distribuição da rede de recolha de biogás

6.6. Possíveis melhorias/explicações para aumentar/perceber a produção de biogás

6.6.1. Optimização do sistema de recolha de biogás¹⁷

No sentido de se otimizar o sistema de extracção de gases, deve-se determinar o número, tamanho e profundidade dos poços que podem ser escavados em certas partes do aterro, a fim de que a eficiência seja a máxima possível. Para tal é necessário que se façam as seguintes avaliações experimentais:

- Selecção de uma taxa de extracção adequada (com a qual se possa extrair gases com o máximo de poder calorífico);
- Estabelecimento de um gradiente diferencial de pressão que assegure o aproveitamento dos gases de uma região do aterro sem interferir com os poços adjacentes;
- Optimização da quantidade de energia necessária para operar o sistema de extracção de gases;
- Determinação do número total de poços que podem ser escavados no aterro;
- Avaliação da máxima produção de energia possível pelo sistema de extracção.

Com base nesta avaliação e com as recomendações para um aterro sanitário do género procedeu-se a avaliação do raio de influência dos diversos poços existentes no aterro de forma a garantir se realmente estão abrangidas todas as zonas do aterro. (ver anexo 4).

¹⁷ Durante o próximo ano os poços serão sujeitos de uma intervenção de manutenção para garantir o bom funcionamento.

6.6.2. Valorização dos resíduos rapidamente biodegradáveis

Com a entrada em funcionamento da central de valorização orgânica, uma moderna instalação que permite valorizar, anualmente, 60.000 toneladas de matéria orgânica proveniente da recolha selectiva, quer ao nível dos domicílios quer ao nível dos grandes produtores (restauração, mercados, cooperativas agrícolas, centros de distribuição de produtos frescos, cemitérios, etc.), traduzindo-se na produção de cerca de 20.000 toneladas/ano de correctivo orgânico de elevada qualidade, houve um desvio significativo da deposição de matéria orgânica biodegradável no aterro sanitário. Como é possível observar no gráfico seguinte, o método de cálculo divide a produção de biogás a partir da matéria rapidamente decomponível (linhas a azul) e da matéria lentamente decomponível, sendo a primeira responsável pelo enorme pico observado na fase inicial de utilização do aterro.

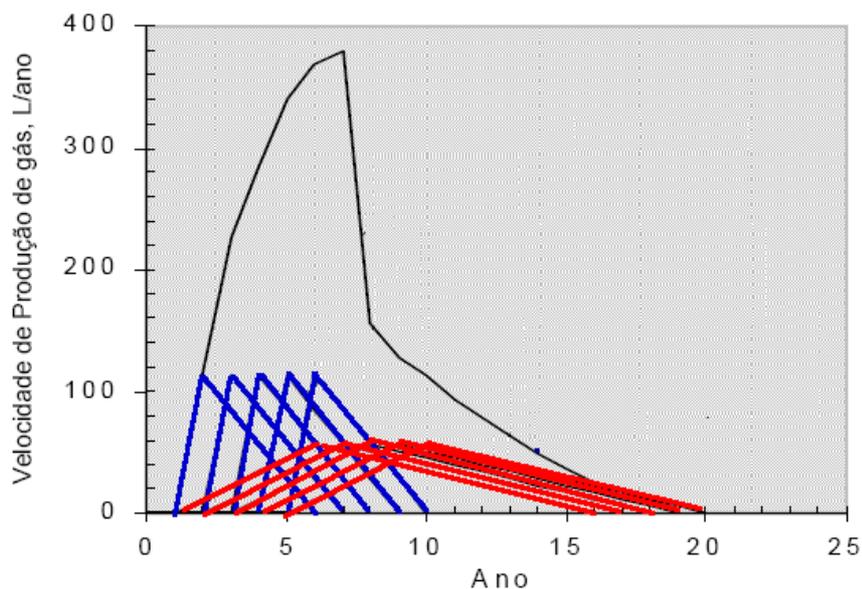


Gráfico 9 – Exemplo das linhas de produção de biogás. Divisão entre componentes rapidamente (linhas azuis) e lentamente decomponíveis (linhas vermelhas)

Estando os resíduos biodegradáveis a ser utilizados na valorização orgânica, verifica-se uma produção de biogás um pouco atípica na medida em que o grande pico não se dará tão rapidamente, como acontece quando prevalecem os resíduos rapidamente biodegradáveis, mas também não haverá um decréscimo na produção tão exponencial, tendo-se considerado uma produção hipotética assinalada a vermelho no seguinte gráfico.

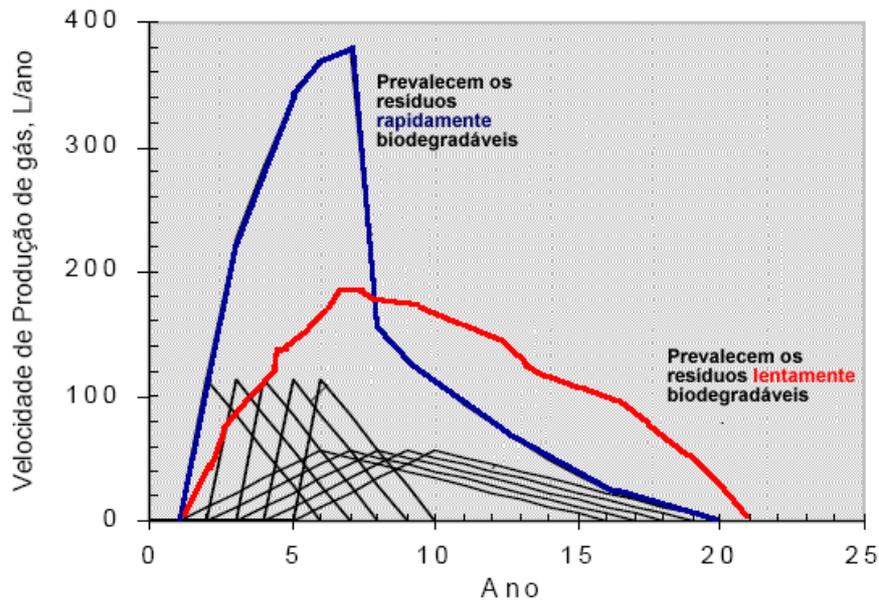


Gráfico 10 – Exemplo da produção de Biogás. Comparação entre uma produção onde prevalecem os resíduos rapidamente biodegradáveis e outra onde prevalecem os resíduos lentamente biodegradáveis.

6.6.3. Percentagem de Oxigénio

Com base nos valores tabelados para a composição típica do biogás, podemos dizer que o caso em estudo apresenta uma percentagem de oxigénio superior ao normal. Este factor é de extrema relevância uma vez que a presença deste gás vai inibir de forma significativa a actividade dos principais agentes produtores de metano.

Esta ocorrência deve-se sobretudo à não total eficácia da tela provisória utilizada para revestir o aterro durante a sua exploração, a juntar a este factor é necessário referir que durante o período activo de exploração esta é removida na área de colocação de resíduos e em toda a zona de acesso à mesma.

6.6.4. Colocação de escórias e cinzas

Tendo como principal função revestir os resíduos depositados e sobretudo dar consistência ao aterro, uma vez que vão permitir uma excelente estabilidade, diminuindo assim o risco de desmoronamento dos taludes, as escórias e cinzas vão estar em contacto directo com os resíduos, não existindo nenhum estudo que demonstre alguma interacção entre estas e os resíduos, é possível que na sua constituição existam substâncias que inibam a actuação dos agentes de produção de metano, havendo também a possibilidade de estarem directamente relacionadas com o teor de humidade presente no aterro.

6.6.5. Compactação dos resíduos

Como referido anteriormente durante a sua colocação no aterro os resíduos são compactados através da utilização de compactadores pés de carneiro, esta acção vai levar a uma diminuição da humidade presente nos resíduos. Como a actividade microbiana desenvolvida no aterro está directamente relacionada com a humidade podemos ter mais um factor que condicione a produção de metano.

6.7. Revisão das constantes para o cálculo teórico da produção de biogás

Como referido anteriormente para o cálculo da produção teórica de biogás foi utilizado o modelo Landgem, onde são considerados valores-padrão para as constantes (k , L_0 e a taxa de recuperação do biogás) que vão definir a evolução da produção de biogás ao longo do tempo, como o aterro em causa se trata de uma situação muito específica, por diversas razões começando pelo tipo de exploração, tempos de paragem e o tipo de resíduos colocados, não será muito correcto recorrer a esses tais valores para definir o aterro.

Assim, foi feito um estudo do possível teor de potencial de recuperação de metano (L_0) uma vez que está directamente ligado com a constituição dos resíduos colocados em aterro, no cálculo anterior foi utilizado o valor 100,00 m³/ton visto ser um valor de referência para os aterros sanitários portugueses.

Assim para o cálculo do potencial de produção de biogás no aterro (L_0) foi utilizada a metodologia sugerida pelo IPCC (eq. 25) juntamente com a informação disponibilizada, obteve-se:

$$L_0 = FCM \times DOC \times DOC_F \times F \times \frac{MM_{CH_4}}{MM_C} \quad (\text{eq. 25})$$

Sendo :

L_0 : Potencial de produção de metano do resíduo (m³ biogás / kg_{RSU})

FCM : Factor de correcção do metano (%)

DOC : Fracção de carbono orgânico disponível (kg_C / kg_{RSU})

DOC_F : Fracção de DOC dissolvida (kg_C / kg_{RSU})

F : Fracção de metano no biogás

$\frac{MM_{CH_4}}{MM_C}$: conversão da massa molecular

Assim:

$FCM=1$ (segunda a tabela nº 8, aterro adequado)

$$DOC = 0,40A + 0,17B + 0,15C + 0,40D + 0,30E \quad (\text{eq. 9})$$

Segundo as tabelas apresentadas de seguida onde é possível ver a constituição dos resíduos na área de influência da Lipor durante o ano de 2006 [12] e a respectiva relação com as componentes da eq. 9 verificamos:

Tabela 19 – Caracterização dos resíduos na área de influência da Lipor (dados de 2006) [12]

Caracterização dos resíduos	
Resíduos putrescíveis	41,5%
Papel e cartão	18,5%
Compósitos	3,4%
Têxteis	6,6%
Plásticos	14,8%
Combustíveis não específicos	1,4%
Vidro	4,6%
Metais	1,5%
Incombustíveis não específicos	1,4%
Resíduos domésticos especiais	1,1%
Elementos finos	5,2%

Tabela 20 – Correspondência entre os componentes e a caracterização

Componente	COD (% em massa)
A - Papel e cartão	18,5
B - Resíduos de parques e jardins	41,5
C - Restos de alimentos	6,6
D - Tecidos	0
E - Madeira	0

Em função das grandes quantidades de alimentos e resíduos orgânicos que são depositados juntos, a eq. 9 foi modificada para:

$$DOC = 0,40A + 0,16(B + C) + 0,40D \quad (\text{eq. 26})$$

$$DOC = 0,17$$

$$DOC_F = 0,014 \times T + 0,28 \quad (\text{eq. 27})$$

Sendo:

$T = \text{temperatura } (^{\circ}\text{C}) \text{ na zona anaeróbia dos resíduos, estimada em } 35^{\circ}\text{C}$

$$DOC_F = 0,77$$

$$F = 40\% (\text{considerando um cenário pessimista})$$

Portanto, substituindo os valores anteriormente calculados (eq. 26 e 27) na

eq. 25, e considerando a densidade do CH₄ (0° C e 1,013 bar) como 0,0007168 t/m³, obtém-se L₀:

Tabela 21 – Variação do potencial máximo de geração de Metano com a % de resíduos putrescíveis

Variação do L ₀	
% Resíduos putrescíveis	Valor de L ₀ (m ³ biogás / kg _{RSU})
41,5	95,56
35	89,60
30	85,02
25	80,44

Considerando que em média na área de influencia da Lipor são produzidas cerca de 500.000 ton. de RSU e que a central de valorização orgânica (CVO) tem uma capacidade de processar cerca de 60.000 ton. de resíduos orgânicos, juntando a este valor os resíduos que são encaminhados para compostagem caseira podemos considerar uma % inferior à verificada em 2006. Assim para o recálculo da produção teórica de metano será utilizado um valor de L₀ de 85,02¹⁸.

Tabela 22 - Simulação do metano gerado no aterro¹⁹

Ano	Metano	
	(ton/ano)	(m ³ /ano)
2001	0	0
2002	4,258E+01	6,382E+04
2003	1,265E+02	1,896E+05
2004	1,769E+02	2,652E+05
2005	2,554E+02	3,829E+05
2006	3,597E+02	5,392E+05
2007	5,388E+02	8,076E+05
2008	5,782E+02	8,667E+05
2009	6,959E+02	1,043E+06
2010	8,090E+02	1,213E+06
2011	9,176E+02	1,375E+06
2012	1,022E+03	1,532E+06
2013	9,819E+02	1,472E+06
2014	9,434E+02	1,414E+06
2015	9,064E+02	1,359E+06
2016	8,709E+02	1,305E+06
2017

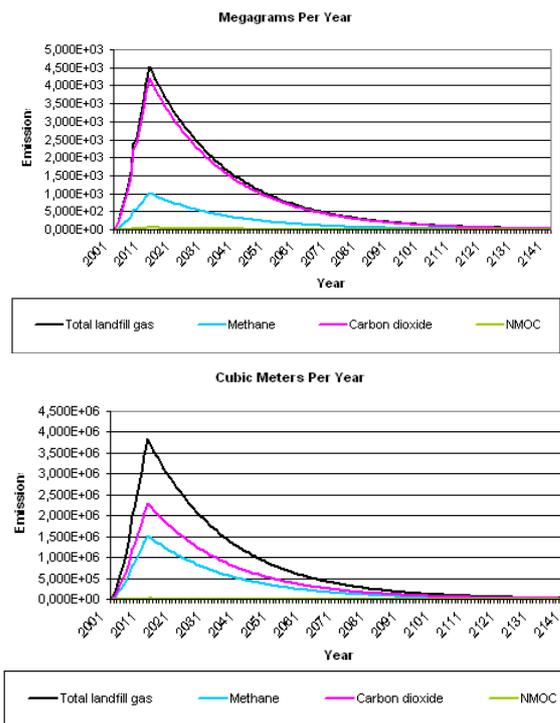


Gráfico 11 – Evolução do metano gerado no aterro ao longo do tempo

¹⁸ Em 2006 das 500.000 ton de RSU, cerca de 207.500 eram resíduos putrescíveis, agora se considerarmos o desvio dos resíduos para valorização (considerando produção total na CVO) reduz-se a percentagem para 30%.

¹⁹ Para consultar restante informação ver anexo 5.

Comparativamente com os resultados obtidos na tabela 15, observa-se uma ligeira redução da produção de biogás, justificada pela utilização de parâmetros considerados mais pessimistas, ver gráfico seguinte:

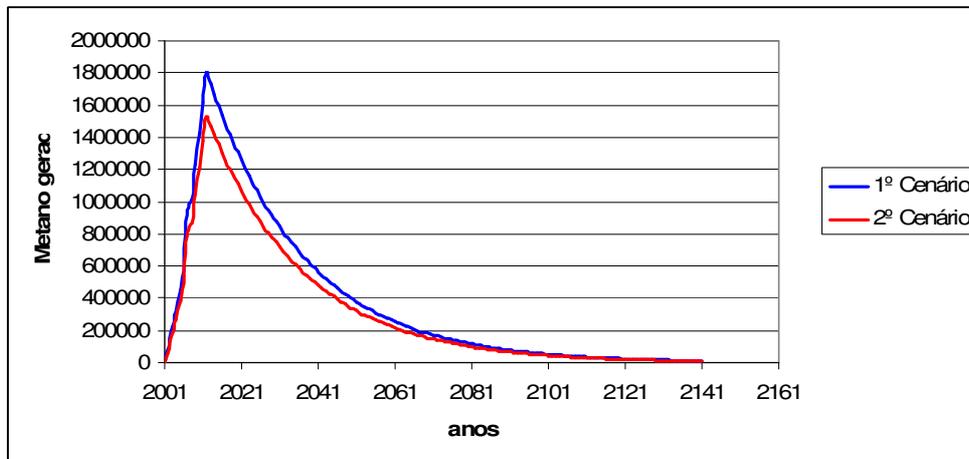


Gráfico 12 – Comparação entre os dois cenários de produção teórica de metano

6.8. Conversão do metano disponível em potencial energético e energia disponível do aterro

Após o conhecimento da quantidade de metano produzida, é necessário converter esta em Energia disponível, pois este é o factor que fará com que se demonstre a viabilidade do projecto e assim escolher a melhor opção a tomar.

Para a determinação da potência e energia disponível foram utilizadas as seguintes equações:

$$Px = Q_x \times f_x \times \eta, \quad (\text{eq. 28})$$

onde :

P_x : Potência disponível a cada ano (kWh / ano)

η : Eficiência de captação de gases (%) = 90% só a partir de 2011, até à data utiliza – se 50%

Q_x : Produção de Metano a cada ano ($m^3 CH_4$ / ano)

f_x : Factor de conversão 4,95 kWh / $m^3 CH_4$ (Biogás com 50% de Metano)

$$E_{disp} = \frac{Px}{365 \times 24},$$

onde :

E_{disp} : Energia disponível (kW) (eq. 29)

P_x : Potência disponível (kW)

365 : dias / ano

24 : h / dia

Assim aplicando as equações 25 e 26, obtêm-se os seguintes resultados mais facilmente perceptíveis no gráficos apresentados de seguida, (Tabela em anexo, ver anexo nº 6):



Gráfico 13 – Potência Produzida teórica (MW/ano)

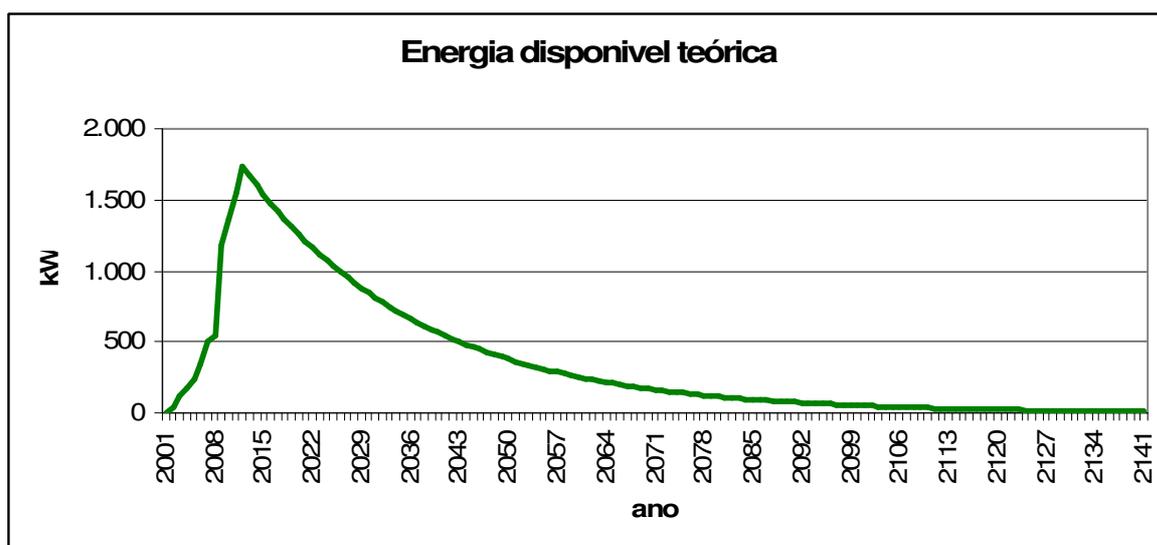


Gráfico 14 – Energia disponível teórica (kW/h)

Estes valores usam como base os caudais obtidos através do modelo matemático de cálculo de emissões de metano obtido usando o simulador LandGEM. Como já foi referido anteriormente, os valores de biogás captado são bastante inferiores, por isso para ter uma melhor percepção da evolução foi realizada uma extrapolação da variação teórica da produção de biogás com o valor total da produção real.

Tabela 23 – Comparação entre a Produção e a Energia disponível teórica e a Produção real monitorizada

Ano	Emissões teóricas de metano (m ³ /ano)	Potência Produzida Teórica (MW/ano)	Energia Disponível Teórica (kW/h)	% Emissões Metano	Emissões Metano (m ³ /ano)	Potência Produzida Real (MWh/ano)	Energia Disponível Real (kW)
2001	0	0	0	0%	0	0	0
2002	141.818	351	40	2%	6.273	16	2
2003	421.412	1043	119	6%	18.639	46	5
2004	589.358	1459	167	9%	26.067	65	7
2005	850.780	2106	240	12%	37.629	93	11
2006	1.198.169	2965	339	17%	52.994	131	15
2007	1.794.589	4442	507	26%	79.374	196	22
2008	1.925.991	4767	544	28%	85.185	211	24

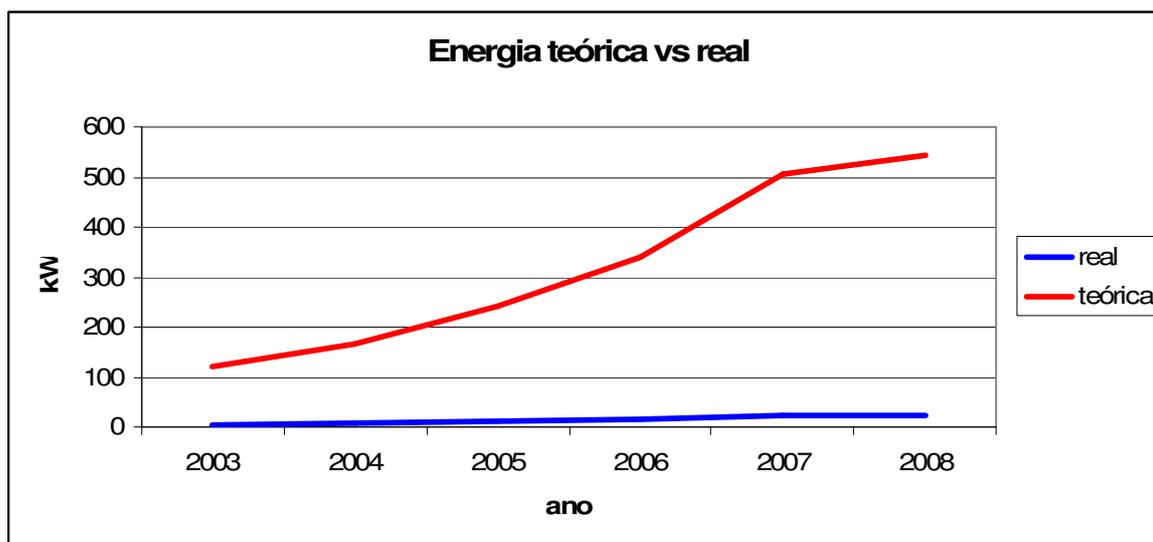


Gráfico 15 – Comparação entre a Energia disponível real e teórica

6.9. Soluções para o caso em estudo

Com base nos resultados obtidos, quer em termos de produção de metano quer em termos de energia disponível para valorização, as soluções mais viáveis a aplicar ao caso em estudo passam por três cenários possíveis:

1º Cenário

- Tendo como base o cálculo teórico da produção do metano e a correspondente energia disponível (Gráfico 16) podemos indicar um valor apropriado de produção de energia, não muito próximo do pico máximo de produção, uma vez que reduziria o período de rentabilidade mas também não muito reduzido por não se aproveitar a mais-valia que é esta valorização, assim, o valor considerado foi a produção de 800 kW. Propondo-se a instalação de um sistema gerador para auto-consumo e consequente comercialização do excedente à Rede Eléctrica Nacional, tentando desta forma eliminar a despesa com a factura energética da empresa responsável pela exploração do aterro sanitário, CITRUP, criando também uma fonte de rendimento. Neste momento na área afectada ao aterro é utilizada energia eléctrica proveniente da rede pública, uma vez que a central de valorização energética é explorada por outra entidade e a produção energética apesar de ser utilizada para consumo interno, não abrange o aterro. A exploração deste tem um consumo médio anual de energia de cerca de 26 MWh [11]. Com base no actual sistema de bonificação de energia, DL 225/2007 de 31 de Maio, obtida a partir de fontes renováveis e mais precisamente para o aterro em causa o valor de comercialização do kW rondará os 0,07343 (Anexo n.º 7).

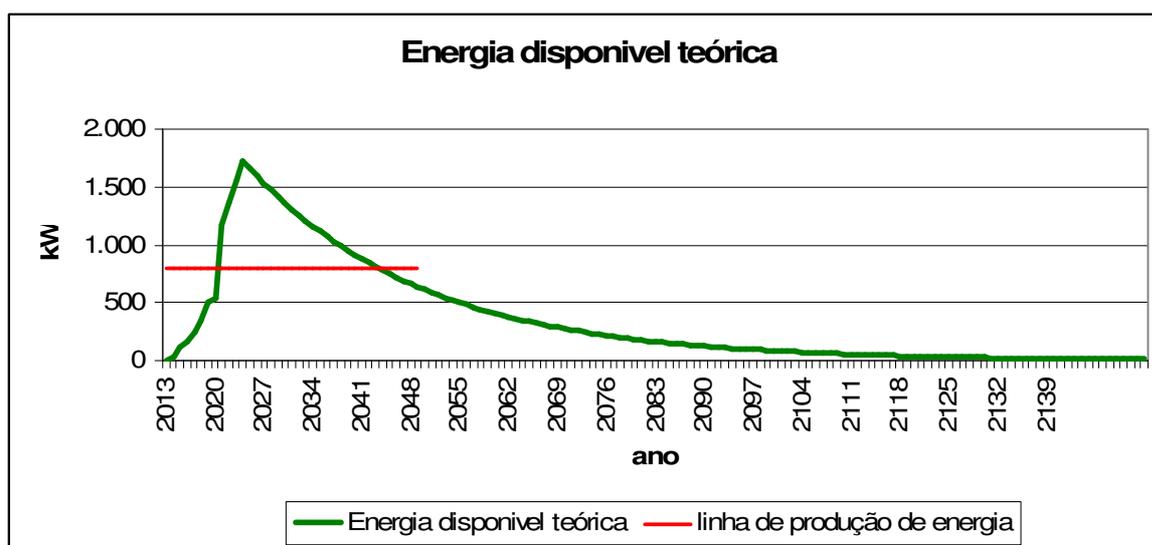


Gráfico 16 – Energia disponível e potência a instalar

Assim, usando como base o gráfico com a energia disponível teórica conseguimos obter um valor ideal para a produo de energia, sendo esse valor cerca de 800 kW que segundo os valores teóricos permite ser obtido a partir do ano de encerramento até 2025, período suficiente para mostrar a viabilidade da soluço apresentada.

2º Cenário

- Tendo como base o cálculo teórico da produo do metano, propõem-se a disponibilizao de parte do metano recolhido  entidade responsável pela explorao da Central de Valorizao Energética, de forma a que seja instalada uma linha alternativa de combustível auxiliar para alimentao das caldeiras do sistema de produo de energia. Neste momento  utilizado como combustível auxiliar gás natural, havendo um consumo médio anual de 40.000 m³ do referido gás que tem segundo a tabela actualizada um custo médio, para consumos entre 10.000 e 100.000, de 0,45 [15].

3º Cenário

- Tendo como base um cenário mais pessimista de produo de biogás, confirmando-se os actuais resultados observados, propõem-se a instalao de um sistema gerador para auto-consumo. Será considerada uma disponibilidade energética de 100 kWh garantindo assim, obter a produo exigida para a explorao do aterro, cerca de 26 MWh/ano.

7. Estudo de viabilidade económica

A obtenção de lucro é um dos principais objectivos na realização de um projecto. Como tal, a decisão de levar a cabo a implementação de um projecto de investimento, passa em primeiro lugar, pela realização do estudo de viabilidade do mesmo.

O estudo da viabilidade económica de um projecto baseia-se na estimativa do investimento inicial e dos custos de produção/manutenção associados ao mesmo, que uma vez comparados com os proveitos resultantes da comercialização/utilização do produto final, permitem avaliar as perspectivas, possibilidades de lucro que o projecto pode oferecer, ou seja, se o projecto é ou não, viável.

O custo final de um produto inclui os custos fixos e variáveis de funcionamento. Os custos fixos, representam os custos que não variam com a quantidade produzida, enquanto que os variáveis são os que dependem da quantidade de produto fabricado.

Este estudo engloba o cálculo do investimento inicial, estimativas dos custos necessários ao arranque, custos de operação, despesas gerais e proveitos e, obviamente, uma avaliação económica e financeira do projecto.

7.1. Custos inerentes ao projecto

De seguida serão apresentados os diversos custos envolvidos nos vários cenários possíveis:

7.1.1. Custo de aquisição equipamento

1º Cenário

A unidade será constituída por um sistema de pressurização do biogás e sistema de gerador de energia (Anexo n.º 8), sendo que de seguida se apresentam os preços de aquisição de cada um deles:

Tabela 24 – Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 1²⁰

Custos de equipamentos			
Equipamento	unid	Custo/unid	Custo Total
Sistema de pressurização do biogás	1	200.000,00	
Grupo Gerador	1	600.000,00	
	Sub-total		800.000,00
Acessórios			24.000,00
Montagem			80.000,00
Imprevistos (8%)			64.000,00
	Sub-total		168.000,00
	Total		968.000,00

²⁰ Indicação dos custos com base num orçamento da empresa Turbomar

2º Cenário

A unidade será constituída por um sistema de tratamento do biogás e um sistema de pressurização, sendo de seguida encaminhado para a alimentação da caldeira estando ligado a um queimador bi-fluxo. De seguida são apresentados os preços de aquisição de cada um deles:

Tabela 25 - Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 2²¹

Custo dos equipamentos			
Equipamento	unid	Custo/unid	Custo Total
Sistema de Tratamento do biogás	1	30.000,00	30.000,000
Queimador bi-fluxo	1	70.000,00	70.000,00
Sub-total			70.000,00
Acessórios (3%)		3.000,00	3.000,00
Montagem (10%)		10.000,00	10.000,00
Imprevistos (8%)			8.000,00
Sub-total			21.000,00
Total			121.000,00

3º Cenário

A unidade será constituída por um sistema de pressurização e um sistema gerador de energia, sendo que de seguida se apresentam os preços de aquisição de cada um deles:

Tabela 26 – Custo de aquisição dos equipamentos para o cenário 3²²

Custo dos equipamentos			
Equipamento	unid	custo/unid	Custo Total
Sistema de Tratamento do biogás	1	33.525,00	
Sistema gerador de energia	1	100.000,00	
Sub-total			133.525,00
Acessorios(3%)		4.005,75	4.005,75
Montagem (10%)		13.352,50	13.352,50
Imprevistos (8%)		10.682,00	10.682,00
Sub-total			28.040,25
Total			161.565,25

7.1.2. Restantes custos

Neste ponto entram todos os custos relacionados com investimento administrativo, consumos energéticos, encargos com o pessoal e custos com matérias-primas, que para o caso são irrelevantes ou inexistentes e por isso não foram equacionados.

²¹ Valores estimados

²² Indicação dos custos com base num orçamento da empresa Turbomar

7.1.3. Estimativa do Investimento Total

O investimento total corresponde ao capital gasto desde a aquisição dos equipamentos até ao momento em que a unidade começa a funcionar em estado estacionário. Este investimento corresponde ao somatório de duas parcelas: o investimento fixo e o fundo de maneio.

O investimento fixo corresponde ao capital inicial que é necessário para que a instalação possa arrancar; é por definição constituído pelos investimentos imobilizado corpóreo (ou custos directos) e imobilizado incorpóreo (ou custos indirectos).

Tabela 27 – Estudo da estimativa de investimento total (1º Cenário)

Rubricas	Factor relativo ao equipamento principal (%)	Custo estimado	Custo Determinado	Anos	
				%	1
Investimento em imobilizado Corpóreo					
Aquisição do terreno			0,00 €	100%	0,00 €
Edifícios			0,00 €	100%	0,00 €
Equipamento principal		800.000,00 €		100%	800.000,00 €
Equipamento secundário		24.000,00 €		100%	24.000,00 €
Montagem de equipamento principal	10%	80.000,00 €		100%	80.000,00 €
Imprevistos	8%	64.000,00 €		100%	64.000,00 €
Total investimento em imobilizado corpóreo		968.000,00 €			
Investimento em imobilizado incorpóreo					
Estudos, projectos e licenças		25.000,00 €		100%	25.000,00 €
Supervisão técnica da construção e instalação dos equipamentos		9.000,00 €		100%	9.000,00 €
Gestão da implementação do projecto		10.000,00 €		100%	10.000,00 €
Despesas de arranque (funcionários)	pessoal		- €	100%	0,00 €
	Energia		0,00 €	100%	0,00 €
Total Investimento Imobilizado Incorpóreo		44.000,00 €			
Total Investimento fixo		1.012.000,00 €			1.012.000,00 €

Tabela 28 – Estudo da estimativa de investimento total (2º Cenário)

Rubricas	Factor relativo ao equipamento principal (%)		Custo estimado	Custo Determinado	Anos	
					%	1
Investimento em imobilizado Corpóreo						
Aquisição do terreno				0,00 €	100%	0,00 €
Edifícios				0,00 €	100%	0,00 €
Equipamento principal			100.000,00 €		100%	100.000,00 €
Equipamento secundário			3.000,00 €		100%	3.000,00 €
Montagem de equipamento principal	10%		10.000,00 €		100%	10.000,00 €
Imprevistos	8%		8.000,00 €		100%	8.000,00 €
Total investimento em imobilizado corpóreo			121.000,00 €			
Investimento em imobilizado incorpóreo						
Estudos, projectos e licenças			5.000,00 €		100%	5.000,00 €
Supervisão técnica da construção e instalação dos equipamentos			1.000,00 €		100%	1.000,00 €
Gestão da implementação do projecto			3.000,00 €		100%	3.000,00 €
Despesas de arranque (funcionários)	peçoal		- €		100%	0,00 €
	Energia		0,00 €		100%	0,00 €
Total Investimento Imobilizado Incorpóreo			9.000,00 €			
Total Investimento fixo			130.000,00 €			130.000,00 €

Tabela 29 – Estudo da estimativa de investimento total (3º Cenário)²³

Rubricas	Factor relativo ao equipamento principal (%)		Custo estimado	Custo Determinado	Anos	
					%	1
Investimento em imobilizado Corpóreo						
Aquisição do terreno				0,00 €	100%	0,00 €
Edifícios				0,00 €	100%	0,00 €
Equipamento principal			133.525,00 €		100%	133.525,00 €
Equipamento secundário			4005,75 €		100%	4005,75 €
Montagem de equipamento principal	10%		13.352,50 €		100%	13.352,50 €
Imprevistos	8%		10.682,00 €		100%	10.682,00 €
Total investimento em imobilizado corpóreo			161.565,25 €			
Investimento em imobilizado incorpóreo						
Estudos, projectos e licenças			5.000,00 €		100%	5.000,00 €
Supervisão técnica da construção e instalação dos equipamentos			2.000,00 €		100%	2.000,00 €
Gestão da implementação do projecto			3.000,00 €		100%	3.000,00 €
Despesas de arranque (funcionários)	peçoal		- €		100%	0,00 €
	Energia		0,00 €		100%	0,00 €
Total Investimento Imobilizado Incorpóreo			10.000,00 €			
Total Investimento fixo			171.569,25 €			171.569,25 €

²³ Apenas se realizou o estudo com a opção mais barata, Sistema gerador de MCI

7.2. Fundo de Maneio

O Fundo de Maneio não é um investimento do mesmo tipo que os outros itens mencionados. Corresponde a uma imobilização temporária e, está relacionado com o funcionamento das instalações. No caso particular do projecto em estudo, não se considerou a criação de um fundo de maneio.

7.3. Amortização

A amortização corresponde à recuperação do capital investido, não incluindo o fundo de maneio. Considerou-se uma amortização linear, no sentido de se considerar uma perspectiva mais negativa. Deste modo, apresenta-se de seguida uma tabela que descreve a amortização em cada ano. Considerando que o equipamento tem um tempo de vida útil de 10 anos

Tabela 30 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (1º Cenário)

Amortização linear	Anos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual	968000	899094	830189	761283	692377	623471	554566	485660	416754	347848	278943
Amortização	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906

Tabela 31 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (2º Cenário)

Amortização linear	Anos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual	121000	112387	103774	95160	86547	77934	69321	60707	52094	43481	34868
Amortização	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613

Tabela 32 – Variação do valor residual dos equipamentos ao longo dos anos (3º Cenário)

Amortização linear	Anos										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual	161565	150064	138564	127063	115562	104061	92560	81060	69559	58058	46557
Amortização	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501

7.4. Custos de Operação

Os custos de operação foram calculados com base no somatório dos custos variáveis e dos custos fixos. Neste caso (1º, 2º e 3º Cenário) apenas existem custos fixos, relacionados com os custos estimados para a manutenção e seguro dos equipamentos instalados.

Tabela 33 - Custos operatórios (1º Cenário)

Custos operatórios	Valor anual €
Manutenção (4% do valor da montagem) + Seguro	3.200,00 €

Tabela 34 - Custos operatórios (2º Cenário)

Custos operatórios	Valor anual €
Manutenção (4% do valor da montagem) + Seguro	2.532,72 €

Tabela 35 - Custos operatórios (3º Cenário)

Custos operatórios	Valor anual €
Manutenção (4% do valor da montagem) + Seguro	534,00 €

7.5. Proveitos Operatórios

Os proveitos ou benefícios operatórios anuais a considerar serão distintos para os diversos cenários considerados, uma vez que a forma de os valorizar não estão relacionadas, mas terão todos como base a quantidade teórica de metano produzida.

1º Cenário

Os proveitos operatórios neste cenário serão os MW que serão vendidos à rede eléctrica nacional (REN). Foi considerado o período de tempo de 2012 até 2021 uma vez que o projecto se iniciará nesse ano para aproveitar a produção máxima e até 2021 por se considerar importante que este seja rentável num período máximo de 10 anos. Para o cálculo da remuneração atribuída ao caso em estudo recorreu-se à legislação em vigor, tendo-se obtido um valor de 73,43 €/MWh (Anexo n.º 7). Assim, a nossa base de cálculo do proveito parte dos seguintes valores:

Tabela 36 – Relação entre a Potência produzida e a receita obtida

Ano	Potência Produzida Teórica (MWh/ano)²⁴	Potência final a injectar na rede(MWh/ano)²⁵	Receita obtida com a venda à REN (€)
2012	2.102.400	2.072.400	152.176
2013	2.102.400	2.072.400	152.176
2014	2.102.400	2.072.400	152.176
2015	2.102.400	2.072.400	152.176
2016	2.102.400	2.072.400	152.176
2017	2.102.400	2.072.400	152.176
2018	2.102.400	2.072.400	152.176
2019	2.102.400	2.072.400	152.176
2020	2.102.400	2.072.400	152.176
2021	2.102.400	2.072.400	152.176

²⁴ Foi tido em conta que o rendimento médio do equipamento seria de 30%

²⁵ Foi removido o consumo da exploração do aterro

2º Cenário

Os proveitos operatórios neste cenário serão os m³ de metano utilizados como combustível auxiliar na produção de energia na central de valorização energética. O consumo médio anual deste gás ronda os 40.000 m³, tendo este um custo de cerca de 0,45€²⁶. Foi considerado o período de tempo de 2012 até 2021 pelas razões já descritas.

Tabela 37 – Relação entre a Potência produzida e a redução no custo da factura eléctrica

Ano	Utilização de combustível auxiliar (m³/ano)	Redução na despesa (€)
2012	40.000	18000
2013	40.000	18000
2014	40.000	18000
2015	40.000	18000
2016	40.000	18000
2017	40.000	18000
2018	40.000	18000
2019	40.000	18000
2020	40.000	18000
2021	40.000	18000

²⁶ Com base na actual tabela de preços do gás natural [16].

3º Cenário

Os proveitos operatórios neste cenário serão os MW que não foram necessário comprar à rede eléctrica nacional uma vez que foram fornecidos pelo sistema gerador de energia instalado. Foi considerado o período de tempo de 2012 até 2021 pelas razões já indicadas anteriormente. É considerado um preço médio para o 1kWh de 0,10€²⁷. Assim a nossa base de cálculo do proveito parte dos seguintes valores:

Tabela 38 – Relação entre a Potência produzida e a redução no custo da factura eléctrica

Ano	Potência necessária (MW/ano)	Redução no custo da factura eléctrica (€)
2012	26	2.600,00 €
2013	26	2.600,00 €
2014	26	2.600,00 €
2015	26	2.600,00 €
2016	26	2.600,00 €
2017	26	2.600,00 €
2018	26	2.600,00 €
2019	26	2.600,00 €
2020	26	2.600,00 €
2021	26	2.600,00 €

7.6. Estudo da Rendibilidade do Projecto

A rendibilidade de um projecto é, por definição a capacidade de reintegração completa dos capitais investidos de gerar um rendimento financeiro adicional suficiente para cobrir os juros do capital.

A análise de rendibilidade do projecto foi realizada considerando determinados pressupostos, que passaremos a enunciar:

- A taxa de actualização aplicável é de 10 %;
- Considerando que o equipamento desvaloriza 10 % ao ano;
- Foi considerada uma taxa de juro de 4,5%.

Com base nos pressupostos referidos anteriormente procedeu-se ao cálculo da Taxa Interna de Rendibilidade (TIR). No Anexo n.º9, serão indicados os valores obtidos para cada ano em termos de cash-flow, bem como o cálculo da TIR.

²⁷ Considerando que se trata de um consumidor de baixa tensão especial uma vez que tem uma potência contratada superior a 41,5 Kva, (Tarifário em vigor desde Janeiro 2008, Despacho n.º 29287/2007 da ERSE)

7.7. Resultado do estudo de viabilidade económica

O estudo de viabilidade económica com vista à implementação de um sistema de valorização do biogás produzido no aterro sanitário da mais, conduziu às seguintes conclusões (Anexo n.º 9):

1º Cenário

O investimento total do projecto é de 1.020.000,00 €;

Os custos operatórios anuais são de 3.200,00 €;

Os proveitos operatórios anuais são de 152.176,33 €;

O Valor Actualizado Líquido (VAL) é de -72.318,00 €, e uma vez que o seu valor é inferior a zero, de acordo com este critério, o projecto tende a não ser admitido. Se analisarmos a TIR esta tem um valor de 5%.

No entanto pode-se verificar através do gráfico apresentado de seguida que este tende para uma viabilidade económica se aumentamos o tempo de retorno do investimento anual.

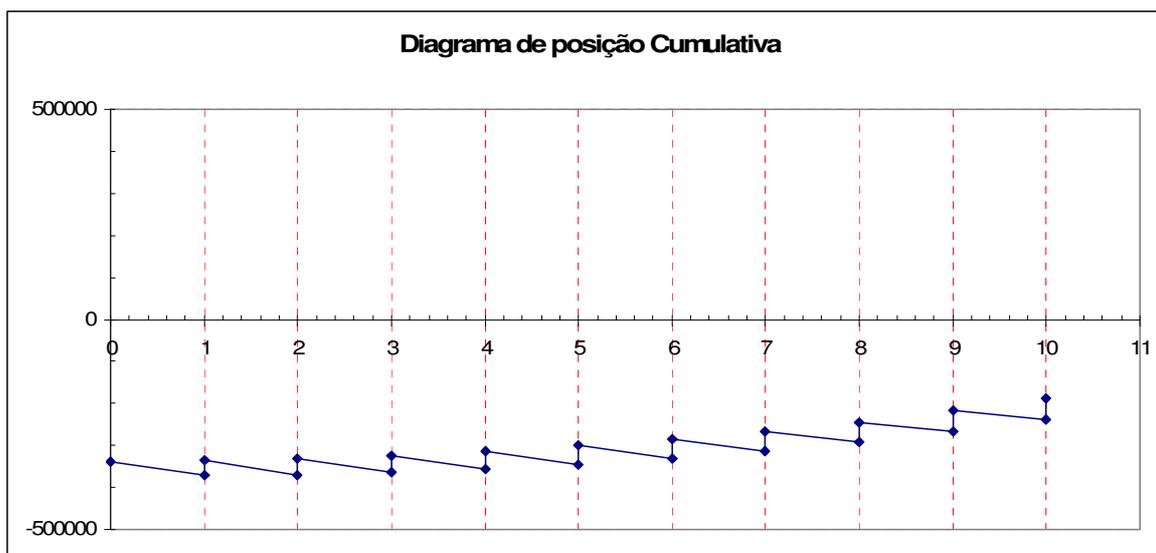


Gráfico 17 – Estudo de sensibilidade económica do 1º cenário

2º Cenário

O investimento total do projecto é de 130.000,00 €;

Os custos operatórios anuais são de 2.532,72 €;

Os proveitos operatórios anuais são de 18.000,00 € ;

O Valor Actualizado Líquido (VAL) é de -20.671,00 €, e uma vez que o seu valor é inferior a zero, de acordo com este critério, o projecto não tende a ser admitido.

No entanto através do estudo de sensibilidade verifica-se que este projecto é extremamente influenciado por pequenas variações em factores como o benefício anual e o investimento inicial. Assim, e tendo em conta a possível ampliação da central de valorização energética, com a construção da terceira linha e com uma possível subida do preço do gás natural como verificado nos últimos anos, esta avaliação teria que ser reformulada.

3º Cenário

O investimento total do projecto é de 161.565,25 €;

Os custos operatórios anuais são de 534,10 €;

Os proveitos operatórios anuais são de 2.600,00 €;

O Valor Actualizado Líquido (VAL) é de -96.125,00 €, e uma vez que o seu valor é inferior a zero, de acordo com este critério, o projecto tende a não ser admitido.

No entanto constatamos que apesar de não se verificar a sua viabilidade, esta é facilmente obtida se factores como o benefício anual e/ou o investimento inicial forem ligeiramente diferente.

8. Conclusões

O estudo apresentado, propõe-se a valorizar um resíduo produzido durante a exploração dos aterros (o biogás) que, em termos ambientais, constitui um sério problema. Neste momento estão criadas as condições para a sua eliminação, no entanto seria necessário perceber se poderíamos juntar a esta, a criação de alguma mais valia procedendo assim, à sua valorização energética ou aproveitamento para outro fim.

Com base nos dados fornecidos foi feita uma estimativa da produção teórica de metano, tendo-se de seguida calculado a respectiva produção energética correspondente.

Para a obtenção do valor esperado de biogás e a correspondente quantidade de metano foi utilizado programa LandGEM v3.02, tendo sido detectada nesta fase uma diferença considerável entre a quantidade de metano teórica e a que realmente foi recolhida. Analisando profundamente esta situação podemos concluir que existem diversos factores que podem contribuir para esta ocorrência destacando-se: o modo de funcionamento do aterro (longos períodos de paragem); desvio dos resíduos rapidamente biodegradáveis para valorização; a existência de uma percentagem superior ao normal de oxigénio no biogás; a utilização de escórias e cinzas e a correspondente redução da humidade devido ao compactamente exercido sobre os resíduos durante a sua deposição.

Relativamente à valorização energética foram consideradas 3 cenários possíveis, valorização energética com a respectiva comercialização à Rede Eléctrica Nacional, a utilização do biogás como combustível auxiliar na central de valorização energética e por fim considerando um cenário mais pessimista e em conformidade com os resultados obtidos actualmente na recolha do biogás, considerou-se a valorização energética para auto-consumo (26 MW).

Assim dos três cenários propostos nenhum mostrou uma viabilidade imediata.

No primeiro temos uma taxa actual líquida de – 72.318,00€ e uma taxa interna de rentabilidade (TIR) de 5%, apesar destes resultados se aumentarmos o período de retorno do investimento este tende para uma viabilidade económica.

Relativamente aos restantes cenários estes revelaram uma taxa actual líquida de - 20.671,00€ e -96.125,00€ respectivamente para o cenário dois e três.

É de salientar que o projecto realizado deve apenas ser considerado como um estudo sumário e preliminar, baseado em estimativas de orçamentos de equipamento e materiais não negociados. Seria de prever, nestas circunstâncias, uma ligeira alteração do investimento global a realizar nas várias opções.

9. Referências Consultadas

9.1. Bibliografia e sítios

- [1] <http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/saving/recycling/solidwaste/landfiller.html>. Acesso Julho de 2008
- [2] [http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Residuos/gestaoresiduos/licenciamentos / Documents/procedimentos%20licenciamento.pdf](http://www.apambiente.pt/politicasambiente/Residuos/gestaoresiduos/licenciamentos/ Documents/procedimentos%20licenciamento.pdf) . Acesso Outubro de 2008
- [3] SÁ CAETANO Nídia, *Tratamento de Resíduos Sólidos*, capítulo 9, ISEP
- [4] TCHOBANOGLOUS George, Theisen, Vigil, *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill College, Janeiro 1993
- [5] <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/wastspan.html>. Acesso Outubro de 2008
- [6] CASTRO, R. *Energias renováveis e produção descentralizada*, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2006.
- [7] MORAN M.; Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 2002
- [8] VARKULYA, A. Jr., PECORA, V., *Sistema de Purificação de Biogás de Aterro*, 2006
- [9] <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0530.shtml>, Acesso Novembro de 2008
- [10] CITRUP, Instrumentos de trabalho, resumo 4
- [11] Licença ambiental do aterro, disponível no site: www.citrup.pt, Acesso Novembro 2008
- [12] LIPOR, Plano estratégico 2007-2016, disponível no site: www.lipor.pt, Acesso Novembro de 2008
- [13] Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos I, período 1996-2006
- [14] Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos II, período 2007-2016
- [15] www.edpgas.pt, acesso Novembro

9.2. Legislação relacionada

- Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio
- Decreto-Lei nº 194/2000 de 21 de Agosto
- Decreto-Lei nº 68/2002 de 25 de Março
- Decreto-Lei nº 152/2002 de 23 de Maio
- Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro
- Decreto-Lei nº 225/2007 de 31 de Maio
- Decreto-Lei nº 363/2007 de 2 de Novembro
- Decreto-Lei nº 381/2007 de 14 de Novembro
- Decreto-Lei nº 209/2008 de 29 de Outubro

11. Anexos

Anexo 1 – Licença Ambiental



▲ licença ambiental

Nos termos da legislação relativa à Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP), é concedida a Licença Ambiental ao operador

LIPOR - Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto

Com o Número de Identificação de Pessoa Colectiva (NIPC) 501394192, para a instalação

Central de Tratamento de Resíduos Urbanos do Grande Porto

sita no sítio em Lugar de Sendal, freguesia de Moreira da Maia, concelho da Maia, para o exercício das actividades incluídas nas categorias 5.3 (Incineração /combustão de resíduos urbanos - actividade PCIP principal) e 5.4 (aterro de resíduos não perigosos) do Anexo I do Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, e classificada com a CAE principal n.º 90020 (Recolha e Tratamento de Outros Resíduos), de acordo com as condições fixadas no presente documento.

A presente licença é válida até 31 de Dezembro de 2017

Nos termos da alínea a) do n.º 2 do Art.º 128 do Código do Procedimento Administrativo a eficácia desta Licença Ambiental retroage a 30 de Outubro.

Amadora, 31 de Dezembro de 2007

O Director-Geral

António Gonçalves Henriques



Anexo 2 – Instruções de trabalho referentes ao biogás

	Tratamento e Monitorização Ambiental	Rev: 4
	Instrução de trabalho – Biogás	Data: 23-06-2008 Pág: 1 de 2

Objectivos

Descrever o modo como se processa o tratamento dos efluentes gasosos (queima de biogás).

Modo de Proceder:

O tratamento dos efluentes gasosos está dividido em:

- Análise da produção de biogás;
- Optimização da rede de drenagem;
- Optimização da abertura de poços.

1. Análise da produção de biogás

A análise da produção e composição do efluente gasoso (Biogás) são realizadas de acordo com os parâmetros e frequência indicados nos documentos, "Especificações de Referência para o plano de monitorização – Mod. 31" e o "Plano de monitorização – Mod. 22"

A monitorização dos poços e do efluente de saída do queimador é realizada por uma empresa subcontratada.

Os locais de amostragem são definidos pela localização dos respectivos poços de captação. Como área envolvente convencionou-se a medição nos locais assinalados na planta anexa (pontos A1 a A7 no Processo "Vigilância e Monitorização Ambiental").

O operador deve verificar o estado de calibração do equipamento de medição antes de proceder às medições.

O operador da CITRUP regista as % obtidas para cada um dos compostos (CO₂, O₂, CH₄, CO, ...) no registo de monitorização. Se for tecnicamente possível, é feita a monitorização aos poços abertos (que ainda não estejam ligados à estação de regulação).

2. Optimização da rede de drenagem

A quando da medição mensal das % e caso o queimador se encontre em funcionamento:

- Verificar a tamponização dos poços para evitar a entrada de O₂ na rede de drenagem;
- Verificar se há acumulação de condensados na rede.

Caso existam condensados, verificam-se as pendentes de modo a escoar os condensados para o separador de condensados.

	Tratamento e Monitorização Ambiental	Rev: 3
	Instrução de trabalho – Biogás	Data: 20-06-2007 Pág: 2 de 2

Diariamente, caso o queimador se encontre em funcionamento, verificar a oscilação de pressão de cada poço, por observação dos manómetros que estão na estação de regulação (a quando do registo no mapa de funcionamento).

Para reforçar a tamponização colocar argila aumentando o raio em volta do poço ou reforçar a que já está colocada.

Se o caudal for baixo e se houver poços fechados, proceder à abertura destes.

3. Optimização da abertura de poços

Caso o queimador se encontre em funcionamento ou algum poço vá ser ligado à estação de regulação ou quando se inicia o queimador após um período prolongado de paragem deve-se fazer a seguinte análise:

- Para uma boa optimização da queima, o caudal mínimo deve ser de 60 m³/h de biogás e a temperatura de queima aproximadamente de 1000 °C;
- O REM deve ajustar 2 a 3 vezes (processo iterativo) a abertura da regulação dos poços e registar os seguintes dados no mapa de registo de funcionamento do queimador (Modelo 85):
 - Os parâmetros obtidos no medidor de biogás relativamente ao CH₄, CO₂ e O₂;
 - O caudal de biogás;
 - A pressão em cada poço que está ligado à estação de regulação;
 - A temperatura.
- Este processo deve ter em conta que a abertura do poço vai depender da quantidade de oxigénio e de metano presente no respectivo poço e a pressão relativa.

Anexo 3 – Certificado de calibração do equipamento de monitorização do biogás

Test Date and Conditions		GAS DATA LTD Pegasus House Seven Stars Estate Wheeler Rd Coventry CV3 4LB Tel 02476303311 Fax 02476307711	
Date	12/9/07		
Atmospheric Pressure	1017		
Ambient Temp	21.5 °C		

LMS FINAL INSPECTION & CALIBRATION CERTIFICATE

INSTRUMENT DETAILS		
Serial No	1736	CUSTOMER
S/W Version	62.18 v - LTV	SUMA

INSTRUMENT CHECKS			
Keyboard	✓	Clock Set / Running	✓
Pump In/Out	✓	Labels Fitted	✓
Display Contrast	✓	Recalibration Due	12/9/2008

GASES					
CH4		CO2		O2	
Test %	Reading %	Test %	Reading %	Test %	Reading
0 <small>accept +/- 0.1</small>	0	0 <small>accept +/- 0.1</small>	0	0 <small>accept +/- 0.1</small>	0
5 <small>accept 4.8-5.1</small>	5	10 <small>accept 9.8-10.2</small>	10	21 <small>accept 20.5-21.2</small>	20.9
50 <small>accept 48.5-51.0</small>	51	40 <small>accept 39.0-41.0</small>	41		
Environics Serial No : 2518					

PRESSURES			
Absolute/Relative		Differential	
<small>Atmos accept current +/-1</small>	1017	0.0	0
<small>Atmos + 50 mbar accept current +48-+52</small>	1067	+30 mbar <small>accept 29.5-30.5</small>	29.5
<small>Atmos - 50 mbar accept current -48-52</small>	967	-30 mbar <small>accept -29.5-30.5</small>	-29.5

TEMPERATURE	
Applied °C	Reading °C
0 <small>accept -0.1-+0.1</small>	0
25 <small>accept 24.5-25.5</small>	25
40 <small>accept 39.5-40.5</small>	40

OPTIONS			
Borehole Flow <small>(See other sheet)</small>	X	LEL	✓
Extraction Flow	✓		
		Temp Probe <small>(see above)</small>	X
		Toxic Gases <small>(see other sheet)</small>	✓

PACKING						
Charger	UK	US	Euro	Sample Pipe	Standard	Flow
Manual	X	X	✓		X	X
Leather Bag				Serial Cable		X
				Software		X
Simp				Cal Certificate		✓

Tested K. O'Neil

Approved [Signature]

Anexo 4 – Mapa do aterro com raio influência dos poços

Anexo 5 – Tabela completa com a produção de biogás e metano

Ano	Biogás (m ³ /ano)	Metano (m ³ /ano)	Ano	Biogás (m ³ /ano)	Metano (m ³ /ano)
2001	0,00	0,00	2056,00	609582,66	274312,20
2002	0,00	0,00	2057,00	585680,58	263556,26
2003	141818,24	63818,21	2058,00	562715,72	253222,07
2004	421411,59	189635,22	2059,00	540651,32	243293,09
2005	589358,12	265211,15	2060,00	519452,08	233753,44
2006	850780,24	382851,11	2061,00	499084,07	224587,83
2007	1198168,52	539175,83	2062,00	479514,70	215781,62
2008	1794588,81	807564,97	2063,00	460712,66	207320,70
2009	1925991,25	866696,06	2064,00	442647,86	199191,54
2010	2318011,56	1043105,20	2065,00	425291,39	191381,13
2011	2694660,54	1212597,24	2066,00	408615,48	183876,96
2012	3056540,89	1375443,40	2067,00	392593,43	176667,05
2013	3404231,72	1531904,27	2068,00	377199,63	169739,83
2014	3270749,88	1471837,45	2069,00	362409,42	163084,24
2015	3142501,95	1414125,88	2070,00	348199,14	156689,61
2016	3019282,68	1358677,21	2071,00	334546,06	150545,73
2017	2900894,91	1305402,71	2072,00	321428,32	144642,74
2018	2787149,20	1254217,14	2073,00	308824,93	138971,22
2019	2677863,52	1205038,58	2074,00	296715,74	133522,08
2020	2572862,98	1157788,34	2075,00	285081,34	128286,61
2021	2471979,58	1112390,81	2076,00	273903,15	123256,42
2022	2375051,88	1068773,35	2077,00	263163,25	118423,46
2023	2281924,76	1026866,14	2078,00	252844,47	113780,01
2024	2192449,21	986602,15	2079,00	242930,30	109318,63
2025	2106482,05	947916,92	2080,00	233404,86	105032,19
2026	2023885,71	910748,57	2081,00	224252,93	100913,82
2027	1944528,01	875037,61	2082,00	215459,85	96956,93
2028	1868281,98	840726,89	2083,00	207011,54	93155,19
2029	1795025,59	807761,52	2084,00	198894,51	89502,53
2030	1724641,63	776088,74	2085,00	191095,74	85993,08
2031	1657017,47	745657,86	2086,00	183602,77	82621,25
2032	1592044,88	716420,20	2087,00	176403,60	79381,62
2033	1529619,91	688328,96	2088,00	169486,72	76269,02
2034	1469642,66	661339,20	2089,00	162841,05	73278,47
2035	1412017,14	635407,71	2090,00	156455,96	70405,18
2036	1356651,16	610493,02	2091,00	150321,23	67644,55
2037	1303456,11	586555,25	2092,00	144427,05	64992,17
2038	1252346,86	563556,09	2093,00	138763,99	62443,79
2039	1203241,64	541458,74	2094,00	133322,97	59995,34
2040	1156061,86	520227,84	2095,00	128095,31	57642,89
2041	1110732,03	499829,41	2096,00	123072,62	55382,68
2042	1067179,60	480230,82	2097,00	118246,87	53211,09
2043	1025334,89	461400,70	2098,00	113610,34	51124,65
2044	985130,93	443308,92	2099,00	109155,62	49120,03
2045	946503,40	425926,53	2100,00	104875,57	47194,00
2046	909390,47	409225,71	2101,00	100763,34	45343,50
2047	873732,76	393179,74	2102,00	96812,35	43565,56
2048	839473,21	377762,94	2103,00	93016,28	41857,33
2049	806556,99	362950,65	2104,00	89369,06	40216,08
2050	774931,44	348719,15	2105,00	85864,85	38639,18
2051	744545,94	335045,67	2106,00	82498,04	37124,12
2052	715351,88	321908,35	2107,00	79263,25	35668,46
2053	687302,53	309286,14	2108,00	76155,29	34269,88
2054	660353,01	297158,86	2109,00	73169,20	32926,14
2055	634460,20	285507,09	2110,00	70300,19	31635,09

Anexo 6 – Tabela completa com Potência produzida e Energia Disponível

Ano	Potência (MW/ano)	Energia disp. (kW/h)	Ano	Potência (MW/ano)	Energia disp. (kW/h)
2001	0,00	0	2056	2609,21	298
2002	351,00	40	2057	2506,90	286
2003	1042,99	119	2058	2408,60	275
2004	1458,66	167	2059	2314,16	264
2005	2105,68	240	2060	2223,42	254
2006	2965,47	339	2061	2136,24	244
2007	4441,61	507	2062	2052,47	234
2008	4766,83	544	2063	1972,00	225
2009	10326,74	1.179	2064	1894,67	216
2010	12004,71	1.370	2065	1820,38	208
2011	13616,89	1.554	2066	1749,00	200
2012	15165,85	1.731	2067	1680,42	192
2013	14571,19	1.663	2068	1614,53	184
2014	13999,85	1.598	2069	1551,23	177
2015	13450,90	1.535	2070	1490,40	170
2016	12923,49	1.475	2071	1431,96	163
2017	12416,75	1.417	2072	1375,82	157
2018	11929,88	1.362	2073	1321,87	151
2019	11462,10	1.308	2074	1270,04	145
2020	11012,67	1.257	2075	1220,24	139
2021	10580,86	1.208	2076	1172,39	134
2022	10165,97	1.160	2077	1126,42	129
2023	9767,36	1.115	2078	1082,25	124
2024	9384,38	1.071	2079	1039,82	119
2025	9016,41	1.029	2080	999,05	114
2026	8662,87	989	2081	959,87	110
2027	8323,20	950	2082	922,24	105
2028	7996,84	913	2083	886,08	101
2029	7683,28	877	2084	851,33	97
2030	7382,01	843	2085	817,95	93
2031	7092,56	810	2086	785,88	90
2032	6814,46	778	2087	755,06	86
2033	6547,26	747	2088	725,46	83
2034	6290,54	718	2089	697,01	80
2035	6043,88	690	2090	669,68	76
2036	5806,90	663	2091	643,42	73
2037	5579,21	637	2092	618,19	71
2038	5360,44	612	2093	593,95	68
2039	5150,26	588	2094	570,66	65
2040	4948,31	565	2095	548,29	63
2041	4754,29	543	2096	526,79	60
2042	4567,87	521	2097	506,13	58
2043	4388,76	501	2098	486,29	56
2044	4216,67	481	2099	467,22	53
2045	4051,33	462	2100	448,90	51
2046	3892,48	444	2101	431,30	49
2047	3739,85	427	2102	414,39	47
2048	3593,21	410	2103	398,14	45
2049	3452,32	394	2104	382,53	44
2050	3316,95	379	2105	367,53	42
2051	3186,89	364	2106	353,12	40
2052	3061,93	350	2107	339,27	39
2053	2941,87	336	2108	325,97	37
2054	2826,52	323	2109	313,19	36
2055	2715,69	310	2110	300,91	34

Anexo 7 – Cálculo da remuneração para produtores em regime especial (PRE)

Actualmente o DL 225/2007 de 31 de Maio veio rever todo enquadramento legislativo referente à produção de energia a partir de fontes renováveis inclusive os critérios de remuneração ao nível do biogás e valorização energética de resíduos sólidos urbanos de acordo com a efectiva componente renovável presente em cada tecnologia.

Foi estipulado que o cálculo em causa seria obtido através da aplicação da seguinte equação:

$$R_{PRE} = k_{pt} \times (PF + PV + PA \times Z) \times k_p \times k_{IPC} \quad \text{eq. 26}$$

Sendo:

R_{PRE} = Remuneração de produtor em regime especial

k_{pt} = (factor de mod elação) – factor de ponderação da energia entregue pelos PRE – considerado igual a 1

PF = (Parcela Fixa) – factor de remuneração relacionado com a garantia de potência proporcionada pelo PRE

PV = (Parcela Variável) – está associado à remuneração da energia entregue pelo PRE

PA = (Parcela Ambiental) – Valoriza o benefício ambiental proporcionado pela central renovável

Z = (Factor de tecnologia) – Relacionado com a tecnologia usada ($Z = 3,8$)

k_p = (factor de perdas) – traduz as perdas evitadas nas redes pelos PRE

k_{IPC} = (Factor de inf lação) – considerado igual a 1

Calculando as diversas constantes, obtemos:

$$PF = C_{PF} \times \left(1,25 \times \frac{P_{med}}{P_{nom}}\right) \times P_{med}, \text{ sendo } P_{med} = 0,087 MWh \text{ e } P_{nom} = 0,100 MWh \quad \text{eq. 27}$$

$$PF = 6.176,30 \text{ € / ano}$$

$$PV = C_{pV} \times E, \text{ sendo } E = 752,4 MWh, C_{pV} = 36,00 \text{ € MWh}^{28} \quad \text{eq. 28}$$

$$PV = 27.086,40 \text{ € / ano}$$

$$PA = C_{pA} \times DC_{ref} \times E, \text{ sendo } C_{pA} = 20 \text{ € / ton e } DC_{ref} = 0,37 \text{ ton / MWh}^{22} \quad \text{eq. 29}$$

$$PA = 5.567,80 \text{ € / ano}$$

$Z = 3,8$ (factor para biogás de aterro) - Cenário pessimista²⁷

²⁸ Valor definido pelo DL 33-A/2005 de 16 de Fevereiro

$$k_p = \frac{1}{1 - 0,015}, \text{ uma que a potência instalada é superior a } 5 \text{ MW} \quad \text{eq. 30}$$

$$k_p = 1,01523$$

$$k_{IPC} = \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}}, \text{ Considera - se } = 1 \quad \text{eq. 31}$$

Assim obtemos:

$$R_{PRE} = 55.249,02 \text{ € / ano}$$

$$R_{PRE} = 73,43 \text{ € / MWh}$$

Anexo 8 – Catálogos dos equipamentos propostos

3º Cenário – Motor de Combustão interna de 100kWh

 www.manrollo.nl	Overview of models and performance, E08/E28 in-line and V-engines										<i>Business unit:</i> Power Generation
											04 / 06
											page 1/1

Engine model:		E0834 E302	E0836 E302	E0836 LE202	E2876 E312 ^{new}	E2876 TE302	E2876 LE302	E2848* LE322 ^{new}	E2842 E312	E2842 LE312
Mixture cooling up to	°C	-	-	50 80	-	-	50 80	Expected O4	-	50 80
ISO standard fuel stop power										
Natural gas @1.500 rpm	kW	54	75	110	-	150	150	210	-	265
Natural gas @1.800 rpm	kW	62	85	110	-	170	150	210	-	?
Biogas (80%CH ₄ , 40%CO ₂) @1.500 rpm	kW	NA	NA	110	85	NA	130	200	180	?
Biogas (80%CH ₄ , 40%CO ₂) @1.800 rpm	kW	NA	NA	110	-	NA	NA	200	-	?
Exhaust gas NOx	mg/Nm ³	5.000	5.000	500	5.000	500	500	500	500	500
Combustion	-	stoich	stoich	lean	stoich	lean	lean	lean	lean	lean
Cylinders/coi	-	4 in-line	6 in-line	8 in-line	6 in-line	8 in-line	8 in-line	8/V90°	12/V90°	12/V90°
	-	natural aspirated	natural aspirated	turbo + intercooler	natural aspirated	turbo charged	turbo + intercooler	turbo + intercooler	natural aspirated	turbo + intercooler
Bore	mm	108	108	108	128	128	128	?	128	128
Stroke	mm	125	125	125	166	166	166	?	142	142
Swept volume	l	4,68	6,87	6,87	12,82	12,82	12,82	?	21,93	21,93
Compression ratio	ε	13:1	13:1	11:1	12:1	12:1	11:1	?	12,5:1	12:1
Width	mm	740	740	740	830	835	830	?	1.265	1.175
Length	mm	825	1.090	1.300	1.330	1.545	1.520	?	1.490	1.695
Height	mm	940	930	1.030	1.035	1.210	1.210	?	1.240	1.350
Dry weight	kg	430	520	605	830	920	990	?	1.300	1.415



► Model: E0836 LE202



► Model: E2842 LE312

Explanation:
<ul style="list-style-type: none"> ► Standard fuel stop power to ISO 3048, part 7, standard reference conditions to ISO 3048, air pressure 1.000 mbar, air temperature 298°K, humidity 30% ► Performance data for natural gas Hu = 10 kWh/Nm³, biogas Hu = 8.0 kWh/Nm³, methane index (MZ) > 90; consult MAN Rollo BV for engine operation at MZ < 80 ► Performance data for other types of gas can be provided after consultation with producer of generating set ► Cooling water quality to MAN specifications ► Lubricating oil quality for gas engines only to MAN works standard ► Heat quantities for cooling water and exhaust gas: In terms of primary energy, cogeneration plants achieve efficiency of more than 80%. The absolute heat quantity that can be used in individual cases depends on the engineering concept of the overall system. Based on our technical data, concrete figures for the heat balance can be given for individual projects.
<p>* Engine model is forthcoming end 2008, given data <i>only</i> for information, no rights can be claimed.</p>

Text and illustrations are not binding (V066404)

MAN Rollo BV (a Pon company) Business unit: Power Generation Koraalrood 17, 2718 SB Zoetermeer PO Box 505, 2700 AN Zoetermeer The Netherlands Tel.: +31(0)79 - 368 3883 Fax: +31(0)79 - 361 4902 E-mail: sales@manrollo.nl Internet: www.manrollo.nl
--

A.3. ALTERNADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO

- Fabricante	Newage Stamford
- Modelo	UCI 274 E
- Tipo	Brushless (sem escovas).
- Potência aparente	140 kVA
- Potencial útil	112 kW
- Isolamento	Classe H
- Eficiência do alternador ($\cos\phi=1$)	95,0%
- Tensão nominal	400 V entre fases, 230 V entre fases e neutro.
- Regulação de tensão	$\pm 1,5\%$, de vazio à plena carga.
- Frequência	50 Hz
- Nº de polos	4
- Índice de protecção	IP21
- Construção	B.15

A.1. SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO BLOCO DO MOTOR, ÓLEO DE LUBRIFICAÇÃO, MISTURA SOBREALIMENTADA E GASES DE ESCAPE.

- Circuito fechado de refrigeração do bloco do motor, óleo de lubrificação, mistura sobrealimentada e gases de escape.
- Electrobomba circuladora Grundfos.
- Válvula termostática de 3 vias, para regulação da temperatura do bloco do motor.
- Vaso de expansão.
- Intercooler de duplo estágio, em ferro fundido, para refrigeração da mistura.
- Permutador de gases de escape do tipo tubular, em aço inoxidável 316L, revestido com isolamento térmico.
- Separação entre circuito primário e circuito secundário efectuada por permutador de calor de placas em aço inoxidável.

Circuito de refrigeração de emergência:

- Válvula motorizada de 3 vias, com comando analógico 4-20 mA.
- Electrobomba circuladora Grundfos.
- Aerorefrigerador horizontal com refrigeração a ar, de fluxo vertical, constituído por tubos de cobre e aletas de alumínio. Dimensionado para dissipação da totalidade da energia térmica gerada no circuito de refrigeração, a 35°C de temperatura ambiente, permitindo o funcionamento à plena carga, nestas condições.

Temperaturas máximas admissíveis no circuito secundário:

- **Entrada: 65°C**
- **Saída: 85°C**

A.4. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

- Bomba de óleo centrífuga.
- 2 Filtros de óleo do tipo filtro de papel.
- Permutador de calor tubular, em ferro fundido.
- Cáster húmido com capacidade para 28 litros de óleo lubrificante.
- Respirador do cáster.
- Válvula de drenagem do óleo do cáster.
- Visor de nível do óleo lubrificante no carter.
- Consumo de óleo lubrificante inferior a 0,3 g/kWh

A.5. SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR

- 1 Filtro de ar, com eficiência de remoção de partículas até 99,7%.
- Indicador de serviço.

A.6. SISTEMA DE ARRANQUE

- Motor eléctrico de arranque, 24V, com engrenagem directa na cremalheira do volante de inércia.
- 2 Baterias de 12V (série), isentas de manutenção.
- Carregador de baterias electrónico de triplo estágio (boost, equalizer e floating).

A.7. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Rampas de gás constituídas unitariamente por:

- Válvula de seccionamento manual.
- Filtro de gás.
- Manómetro com válvula.
- 2 Electroválvulas de corte, 24V.
- Pressostátos de máxima e mínima pressão.
- Regulador de pressão zero, de diafragma.
- Torno de ajuste geral.
- Ligação flexível
- Válvula de borboleta, para regulação do caudal de mistura ar/combustível.
- Carburador.

A.8. REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

- Regulador electrónico de velocidade Heinzmann E6-V
- Actuador Heinzmann E6-V

A.9. SISTEMA DE IGNIÇÃO

- Módulo de ignição electrónica Altronic CD1 (dual-fuel timing).
- Sensores para detecção do avanço de ignição.
- Velas do tipo não disruptivo.
- Cablagem primária, de baixa tensão.
- Cablagem secundária, de alta tensão.

A.10. ARMÁRIO DE CONTROLO E DE POTÊNCIA

- Armário de controlo e potência HABO/Eldon, equipado com iluminação, ventilação e filtragem de ar.

1º Cenário – Sistema de pressurização

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

A.1. GASÓMETRO

- Tipo	Dupla membrana
- Marca	SÄTTLER
- Modelo	B9 116/205
- Volume	400 m ³
- Pressão de operação	20,0 mbar
- Diâmetro reservatório	9,80 m
- Altura do reservatório	7,40 m
- Diâmetro na ancoragem	8,50 m
- Temperatura máxima do gás	55°C
- Produção de gás	300 m ³ /h
- Consumo de gás	300 m ³ /h
- Carga máxima de neve	150 kg/m ²
- Velocidade máxima de vento	150 km/h



A.2. COMPOSIÇÃO DAS MEMBRANAS

- Membrana exterior em polyester revestido em ambos os lados a PVC, resistente a micro-organismos, UV e abrasão, em cor branca. Resistência à tensão de 5500 N/5 cm e peso total aprox. 1200 g/m².

Ensaio do material: Teste após envelhecimento artificial: nenhuma alteração. Teste de reacção de cor de acordo com DIN EN ISO 105-B04. Teste de reacção à luz superior a 7 (escala de qualidade crescente de 1 a 8). Teste de deformação de acordo com a norma DIN 53359, grau 0 (escala de 0 a 4; 0 = sem danos). Resistência ao frio de acordo com DIN 53361, grau 0 (escala de 0 a 4; 0 = sem danos). Resistência à chama de acordo com ÖN B 3800 classe B1.

- Membrana interior e de chão em polyester revestido em ambos os lados a PVC e aditivado com plastificante especial, resistente a micro-organismos, UV e abrasão, elevada protecção de chama DIN4102 class B1, em cor amarela. Concentração máxima de H₂S de 0,5%.

Ensaio do material: Teste após envelhecimento artificial: nenhuma alteração. Teste de deformação de acordo com a norma DIN 53359, grau 0 (escala de 0 a 4; 0 = sem danos). Resistência ao frio de acordo com DIN 53361, grau 0 (escala de 0 a 4; 0 = sem danos). Resistência à chama de acordo com ÖN B 3800 classe B1. Permeabilidade ao metano < 250 ml/m².d.bar.

A.3. OUTROS EQUIPAMENTOS INCLUÍDOS NO FORNECIMENTO

- 1 Ventilador de ar e respectivas válvulas de comando, tipo EEx-e-II-T3, consumo 0,9 kWh, 3 x 400 V, 50 Hz, insuflação de ar até 200 m³/h para 20 mbar de contrapressão
- 1 Válvula anti-retorno, montada entre ventilador e gasómetro, para manutenção de pressão constante em caso de avaria nos ventiladores, em aço inoxidável V2a.
- 1 Válvula de segurança de selo líquido para 25 mbar, equipada com flanges de ligação DN150 mm e contra flanges DIN2502. Capacidade de descarga de 300 m³/h com aumento de pressão de 2 mbar, com indicador de nível. Enchimento com glicol densidade 1113 kg/dm³.

Anexo 9 – Cálculo do balanço económico

Balanço económico para o 1º Cenário

Investimento Amortizável	968.000,00 €
Terrenos	- €
Fundo de Maneio	- €
INVESTIMENTO TOTAL	968000,00
Vida útil	10
Valor Residual	278.942,75 €
Amortização Linear	68.905,72 €
Fundos próprios	35%
Fundos próprios	338.800,00 €
Empréstimo	629.200,00 €
Reembolso Constante	62.920,00 €
Taxa Juro	4,5%
Produção kW/ano	2072400
Preço unitário venda	0,07343
Receitas	152.176,33 €
Custos Operatórios	3200,00
Taxa fiscal	40%
Taxa Actualização	10%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dívida	629200,00	566280,00	503360,00	440440,00	377520,00	314600,00	251680,00	188760,00	125840,00	62920,00	0E+00
Encargos Financeiros	28314,00	25482,60	22651,20	19819,80	16988,40	14157,00	11325,60	8494,20	5662,80	2831,40	
Reembolso	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	62920,00	

Amortização linear											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual	968000	899094	830189	761283	692377	623471	554566	485660	416754	347848	278943
Amortização	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906

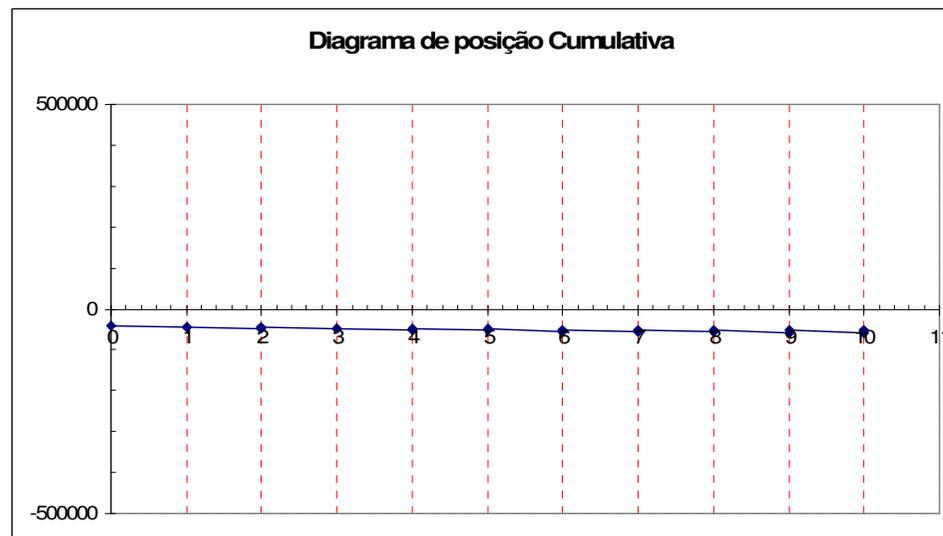
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receitas		152176	152176	152176	152176	152176	152176	152176	152176	152176	152176
Custos Operatórios		3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
Amortização		68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906
Encargos Financeiros		28314	25483	22651	19820	16988	14157	11326	8494	5663	2831
Benefício Antes Impostos		51757	54588	57419	60251	63082	65914	68745	71576	74408	77239
Impostos		20703	21835	22968	24100	25233	26365	27498	28631	29763	30896
Benefício Depois Impostos		31054	32753	34452	36150	37849	39548	41247	42946	44645	46344
Amortização		68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906	68906
Reembolso		62920	62920	62920	62920	62920	62920	62920	62920	62920	62920
Cash-Flow		37040	38739	40437	42136	43835	45534	47233	48932	50630	52329
Fundo Maneio + Terrenos											0
Cash-Flow Corrigido	338.800,00 €	37040	38739	40437	42136	43835	45534	47233	48932	50630	52329

TIR	5%
------------	----

VAL	-72.318
RAL	-11769
VCL	-187575
VAL/I	-21,35%

Balanço económico para o 2º Cenário

Investimento Amortizável	121.000,00 €
Terrenos	- €
Fundo de Maneio	- €
INVESTIMENTO TOTAL	121.000,00
Vida útil	10
Valor Residual	34.867,84 €
Amortização Linear	8.613,22 €
Fundos próprios	35%
Fundos próprios	42.350,00 €
Empréstimo	78.650,00 €
Reembolso Constante	7.865,00 €
Taxa Juro	4,5%
Produção kW/ano	40000
Preço unitário venda	0,45 €
Receitas	18.000,00 €
Custos Operatórios	2532,72
Taxa fiscal	40%
Taxa Actualização	10%



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dívida	78650,00	70785,00	62920,00	55055,00	47190,00	39325,00	31460,00	23595,00	15730,00	7865,00	0
Encargos Financeiros	3539,25	3185,33	2831,40	2477,48	2123,55	1769,63	1415,70	1061,78	707,85	353,93	
Reembolso	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	7865,00	

Amortização linear											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual	121000	112387	103774	95160	86547	77934	69321	60707	52094	43481	34868
Amortização	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receitas		18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
Custos Operatórios		2533	2533	2533	2533	2533	2533	2533	2533	2533	2533
Amortização		8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613
Encargos Financeiros		3539	3185	2831	2477	2124	1770	1416	1062	708	354
Benefício Antes Impostos		3315	3669	4023	4377	4731	5084	5438	5792	6146	6500
Impostos		1326	1467	1609	1751	1892	2034	2175	2317	2458	2600
Benefício Depois Impostos		1989	2201	2414	2626	2838	3051	3263	3475	3688	3900
Amortização		8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613	8613
Reembolso		7865	7865	7865	7865	7865	7865	7865	7865	7865	7865
Cash-Flow		2737	2949	3162	3374	3587	3799	4011	4224	4436	4648
Fundo Maneio + Terrenos											0
Cash-Flow Corrigido	-42350	2737	2949	3162	3374	3587	3799	4011	4224	4436	4648

TIR	-2%
------------	-----

VAL	-20.671
RAL	-3364
VCL	-53614
VAL/I	-48,81%

Balanço económico para o 3º Cenário

Investimento Amortizável	161.565,25 €
Terrenos	- €
Fundo de Maneio	- €
INVESTIMENTO TOTAL	161565,25
Vida útil	10
Valor Residual	46.557,29 €
Amortização Linear	11.500,80 €
Fundos próprios	35%
Fundos próprios	56.547,84 €
Empréstimo	105.017,41 €
Reembolso Constante	10.501,74 €
Taxa Juro	4,5%
Produção kW/ano	722400
Preço unitário venda	0,07343
Receitas	53.045,83 €
Custos Operatórios	534,10
Taxa fiscal	40%
Taxa Actualização	10%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dívida											
Encargos Financeiros	105017,41	94515,67	84013,93	73512,19	63010,45	52508,71	42006,97	31505,22	21003,48	10501,74	0E+00
Reembolso	4725,78	4253,21	3780,63	3308,05	2835,47	2362,89	1890,31	1417,74	945,16	472,58	
	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74	10501,74

Amortização linear

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valor Residual											
Amortização	161565	150064	138564	127063	115562	104061	92560	81060	69559	58058	46557
	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Receitas	0										
Custos Operatórios		2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
Amortização		534	534	534	534	534	534	534	534	534	534
Encargos Financeiros		11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501
Benefício Antes Impostos		4726	4253	3781	3308	2835	2363	1890	1418	945	473
Impostos		-14161	-13688	-13216	-12743	-12270	-11798	-11325	-10853	-10380	-9907
Benefício Depois Impostos		-5664	-5475	-5286	-5097	-4908	-4719	-4530	-4341	-4152	-3963
Amortização		-8496	-8213	-7929	-7646	-7362	-7079	-6795	-6512	-6228	-5944
Reembolso		11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501	11501
Cash-Flow		10502	10502	10502	10502	10502	10502	10502	10502	10502	10502
Fundo Maneio + Terrenos		-7497	-7214	-6930	-6647	-6363	-6080	-5796	-5513	-5229	-4945
Cash-Flow Corrigido											0
	- 56.547,84 €	-7497	-7214	-6930	-6647	-6363	-6080	-5796	-5513	-5229	-4945

TIR	
------------	--

VAL	
RAL	-96.125
VCL	-15644
VAL/I	-249324