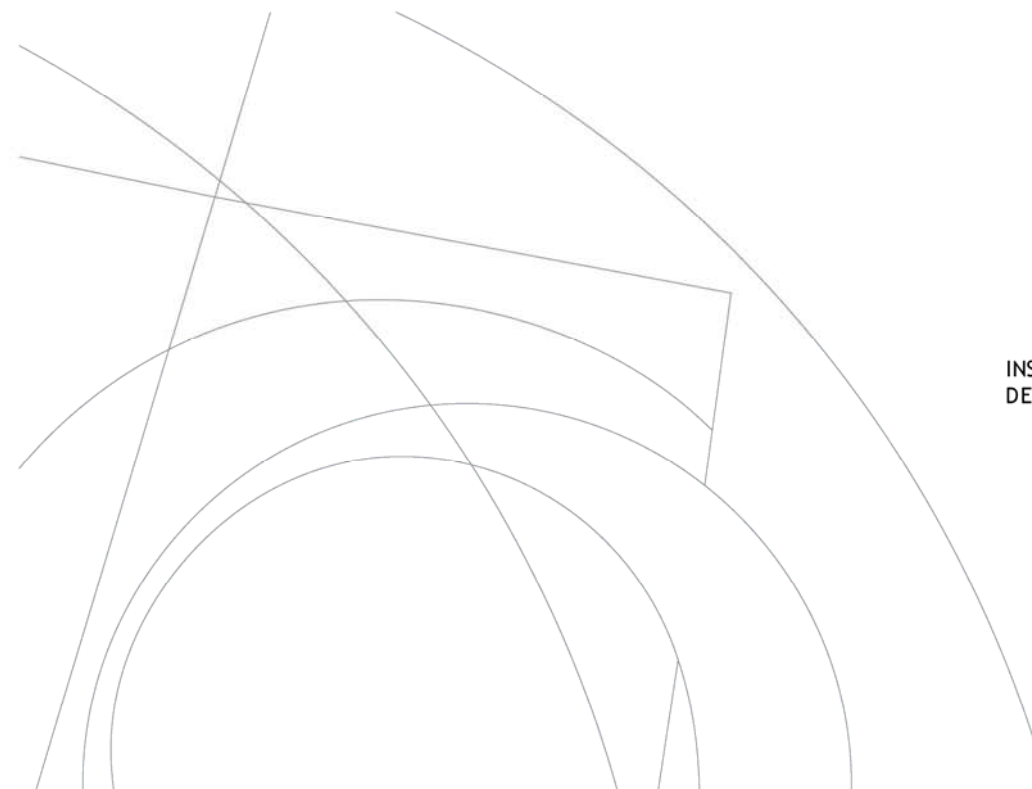


INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

ESTG

Monitorização da qualidade e quantidade do biogás e estudo das emissões difusas no Aterro Sanitário  
multimunicipal de Viana do Castelo  
Valter Jorge Lopes Monteiro

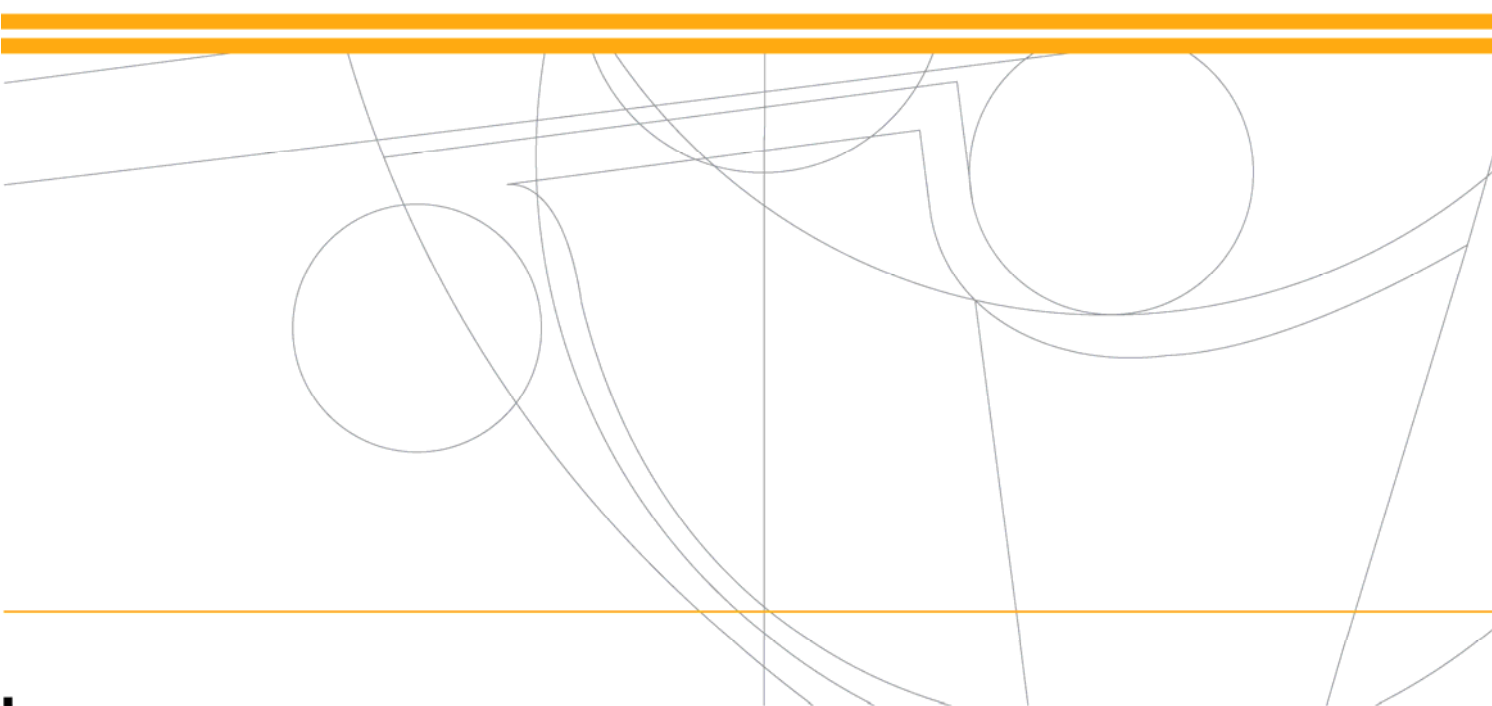
2021



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

## Monitorização da qualidade e quantidade do biogás e estudo das emissões difusas no Aterro Sanitário multimunicipal de Viana do Castelo

Valter Jorge Lopes Monteiro





**INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO**

**Valter Jorge Lopes Monteiro**

**Monitorização da qualidade e quantidade do biogás e estudo  
das emissões difusas no Aterro Sanitário multimunicipal de  
Viana do Castelo**

**Nome do Curso de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Civil e do Ambiente**

**Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Mário Augusto Tavares Russo**

**Junho 2021**

INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL E DO AMBIENTE

MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE E QUANTIDADE DO BIOGÁS E ESTUDO  
DAS EMISSÕES DIFUSAS NO ATERRO SANITÁRIO MULTIMUNICIPAL DE  
VIANA DO CASTELO

Autor: Valter Jorge Lopes Monteiro

Orientador: Mário Augusto Tavares Russo

Prof. Doutor Mário Augusto Tavares Russo

Instituição: Instituto Politécnico de Viana do Castelo - Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão

---

Prof. Doutor Mafalda Reis Lima Lopes Laranjo

Instituição: Instituto Politécnico de Viana do Castelo - Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão

---

Prof. Doutor Mário Jorge da Costa Tomé

Instituição: Instituto Politécnico de Viana do Castelo - Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão

---

junho, 2021

**DEDICATÓRIA**

*Dedico esta vitória a minha mãe Maria de Lurdes  
Lopes Da Graça, a minha esposa, ao meu filho e  
a toda minha família e amigos que me  
apoiaram ao longo do meu percurso;  
Em memória do querido pai António Vieira Monteiro e  
tio Joaquim António Monteiro.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos da empresa RESULIMA – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, que me acolheram durante o período de estágio.

Ao meu orientador, Professor Doutor Mário Augusto Tavares Russo, Coordenador do Curso do Mestrado em Construções Cívicas no Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, pela disponibilidade, conhecimentos transmitidos, colaboração e apoio no desenvolvimento deste projeto e na revisão da dissertação;

Ao Engenheiro José Cardona, administrador da Resulima no período de estágio, pela simpatia e acolhimento na empresa, apresentando-se sempre disponível no esclarecimento de dúvidas em relação aos objetivos do projeto e pelo interesse demonstrado no desenvolvimento desta temática;

Ao meu supervisor de estágio na empresa, Engenheiro Francisco Alves, responsável pela Divisão de Tratamento de Resíduos Indiferenciados (DIRI), Engenheira Joana Cunha, responsável pelo Gabinete de Ambiente, Qualidade e Segurança (GAQS), Engenheiro Fernando Araújo e a técnica do Laboratório Ana Beatriz da Resulima, pela forma como me receberam na empresa, pela simpatia, apoio prestado em todas as atividades desenvolvidas no estágio, na recolha de dados e desenvolvimento do projeto na fase de escrita desta dissertação;

Ao técnico António Couto pelo seu acompanhamento na recolha de dados, apoio na investigação e experiência transmitida.

Aos meus colegas de estágio Liliana Alves e José Figueiro pelo apoio e partilha de conhecimentos.

A todos os meus colegas do percurso académico, em especial Paulo Alves, Filipa Silva, Rafaela Caldas e Patrícia Barros, Samuel Franco e Tiago Bota que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram.

Agradeço aos meus familiares que ao meu lado sempre demonstraram apoio incondicional em todos os momentos neste trabalho.

Aos meus amigos pela força prestada e constante preocupação em relação ao desenvolvimento deste projeto.

Muito obrigado a todos.

## RESUMO

As alterações climáticas constituem uma grande ameaça ambiental, social e económica que o mundo enfrenta nos dias de hoje. O setor dos resíduos sólidos desempenha um papel importante neste combate, dado que sendo responsável por 3 a 5% das emissões dos Gases de Efeito de Estufa (GEE), de acordo com estudos da ISWA, pode contribuir com o sequestro de cerca de 13% desses gases. Os aterros sanitários, devido à composição dos resíduos depositados ser maioritariamente matéria orgânica, é uma fonte de produção de biogás, em que o metano é maioritário, sendo 21 a 25 vezes (dados do IPCC) mais nefasto para a atmosfera que o dióxido de carbono, o outro constituinte maioritário do biogás. Assim, a extração do biogás em aterros sanitários e a sua queima constitui uma das medidas mais efetivas para a diminuição do risco e no combate às alterações climáticas. Os resíduos urbanos dos 6 municípios da RESULIMA depositam cerca de 356 t/dia de resíduos urbanos (2015). A desgaseificação é feita através de poços, normalmente implantados considerando um raio de influência de desgaseificação de cada poço de 25 metros. No entanto, tem-se verificado que as emissões também se processam através das camadas de cobertura fora da ação destes poços e, sobretudo, durante a exploração, através das coberturas provisórias ou intermédias realizadas com terras e que importa quantificar.

No presente trabalho foram realizadas medições contínuas do biogás nos diversos poços de desgaseificação para avaliar a evolução quantitativa e qualitativa de geração de biogás no aterro, com o tempo. Também se analisaram os dados históricos do biogás, que a empresa RESULIMA detém, em complemento dos dados obtidos no decurso dos trabalhos.

Numa segunda etapa, com o objetivo de avaliar o efeito barreira à passagem de gases das coberturas intermédias, procedeu-se à medição das emissões fugitivas do biogás com câmara de fluxo em diversos pontos do topo do aterro, com espessuras diferentes, constatando-se que a eficiência à passagem de gases das camadas de coberturas intermédias depende do material e da espessura do mesmo, bem como do modo de operação do aterro, de que se salienta o grau de compactação.

**Palavras-chave:** aterro, biogás, resíduos sólidos, placa de fluxo estático, lixiviados e eficiência da cobertura de resíduos.

## ABSTRACT

Climate change is currently a major environmental, social and economic threat which the world is facing. The solid waste sector plays an important role in this fight as, according to ISWA studies, it accounts for 3 to 5% of the greenhouse gas emissions (GHG) and can contribute to the sequestration of about 13% of these gases. Due to the fact that deposited waste is mainly composed of organic matter, landfills are a source of biogas production, most of which is methane, which makes it 21 to 25 times (IPCC data) more harmful to the atmosphere than carbon dioxide, the other major constituent of biogas. Therefore, the extraction of biogas from landfills and its burning is one of the most effective measures for reducing risks and fighting climate change. The 6 municipalities of RESULTIMA deposit around 356 t / day of urban waste (2015). The degassing is done by means of wells that are usually implanted considering a 25-metre radius of influence of degassing of each well. However, it has been found that the emissions are also processed through the cover layers beyond the action of these wells and, especially during the study, through the temporary or intermediate covers carried out with soil, which it is also important to quantify.

Throughout this study, continuous measurements of the biogas were carried out in the various degassing wells to evaluate the quantitative and qualitative evolution of biogas generation in the landfill over time. The historical biogas data that RESULTIMA owns was also analysed, in addition to the information obtained during the study.

During a second phase, with the aim of evaluating the barrier effect of the passage of gases from the intermediate cover layers, the fleeting emissions of the biogas were measured with a chamber gas-flow meter at several points of the top of the landfill, with different thicknesses, which led to the conclusion that the gas flow efficiency of the intermediate cover layers depends on the material and the thickness thereof, as well as on the operation mode and compactness of the landfill.

**Keywords:** landfill, biogas, solid waste, landfill, flux chamber, leachate, waste cover efficiency..

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Caraterização da empresa .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Modelo técnico .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3</b>	<b>Infraestruturas .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4</b>	<b>Receção de resíduos .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Enquadramento legislativo .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Classificação de Resíduos .....</b>	<b>14</b>
3.2.1	Classificação quanto a origem: .....	15
3.2.2	Classificação quanto a características: .....	16
<b>3.3</b>	<b>Classificação e tipos de aterros sanitários .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Biogás .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Componentes do biogás .....</b>	<b>18</b>
<b>3.6</b>	<b>Propriedades do biogás .....</b>	<b>19</b>
<b>3.7</b>	<b>Características do biogás .....</b>	<b>20</b>
<b>3.8</b>	<b>Formação do biogás .....</b>	<b>20</b>
3.8.1	Fase I - Fase Inicial .....	21
3.8.2	Fase II - Fase de transição .....	21
3.8.3	Fase III – Fase ácida .....	22
3.8.4	Fase IV – Fase metânica .....	22
3.8.5	Fase V – Fase de maturação .....	22
<b>3.9</b>	<b>Fatores que influenciam a Simbiose de bactérias na produção de metano ...</b>	<b>25</b>
3.9.1	Simbiose de bactérias .....	25



3.9.2	Temperatura de substrato .....	25
3.9.3	Nutrientes Disponíveis .....	25
3.9.4	Tipo de batch e plantas contínuas.....	25
3.9.5	Valor de pH .....	26
3.9.6	Fatores inibitórios.....	26
3.9.7	Inibição de azoto e relação C/N: .....	26
<b>3.10</b>	<b>Fatores que influenciam a degradação de resíduos em aterros e produção de biogás:.....</b>	<b>27</b>
3.10.1	Características de Aterro Sanitário.....	27
3.10.2	Características dos resíduos.....	27
3.10.3	Teor da humidade.....	28
3.10.4	Temperatura.....	28
3.10.5	pH.....	30
<b>3.11</b>	<b>Potenciais benefícios do biogás .....</b>	<b>30</b>
3.11.1	Vantagens tecnológicas da captação de biogás: .....	31
3.11.1.1	Benefício para a sociedade:.....	31
<b>3.12</b>	<b>Potencial impacto na produção do biogás.....</b>	<b>33</b>
3.12.1	Odores .....	34
3.12.2	Emissões de gases com efeito de estufa .....	34
3.12.3	Risco para a saúde e efeitos tóxicos .....	35
3.12.4	Explosões.....	35
3.12.5	Stress da vegetação.....	36
<b>3.13</b>	<b>Utilização do biogás .....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO, CVEB E A REDE DE BIOGÁS DA RESULTIMA.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Localização .....</b>	<b>37</b>

<b>4.2</b>	<b>Caracterização do ASVC .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3</b>	<b>Caracterização do Centro Eletroprodutor .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4</b>	<b>Produção de biogás no ASVC .....</b>	<b>40</b>
<b>4.5</b>	<b>Caracterização de sistema de drenagem de biogás.....</b>	<b>41</b>
4.5.1	Pormenor construtivo da rede de drenagem de biogás .....	42
<b>5</b>	<b>MONITORIZAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS DO BIOGÁS .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>Monitorização da qualidade do biogás do ASVC .....</b>	<b>47</b>
5.1.1	Material: .....	47
5.1.2	Metodologia: .....	48
5.1.3	Resultados e análise da qualidade do biogás nos poços de captação .....	52
5.1.4	Resultados e análise da qualidade do biogás na conduta de encaminhamento ao CEP	52
<b>5.2</b>	<b>Monitorização da depressão do biogás do ASVC .....</b>	<b>53</b>
5.2.1	Material: .....	54
5.2.2	Metodologia: .....	54
5.2.3	Resultados e análise dos dados da depressão .....	55
<b>5.3</b>	<b>Monitorização da temperatura do ASVC.....</b>	<b>56</b>
5.3.1	Material .....	56
5.3.2	Metodologia.....	56
5.3.3	Resultados .....	56
5.3.3.1	Análise dos dados de temperatura.....	57
<b>6</b>	<b>ENSAIOS DE CAMPO SOBRE EMISSÕES DIFUSAS .....</b>	<b>58</b>
<b>6.1</b>	<b>Considerações iniciais.....</b>	<b>58</b>
<b>6.2</b>	<b>Local do ensaio de campo.....</b>	<b>58</b>
<b>6.3</b>	<b>Materiais e métodos .....</b>	<b>60</b>
<b>6.4</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>62</b>

Procedimento de ensaio – Placa de Fluxo estático:.....	62
<b>6.5 Apresentação de resultados: .....</b>	<b>65</b>
<b>6.6 Cálculo de fluxo de gases: .....</b>	<b>75</b>
<b>6.7 Resumo dos Resultados dos ensaios .....</b>	<b>76</b>
<b>7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>
<b>GLOSSÁRIO: .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO I - Enquadramento Legislativo da RESULIMA .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ANEXO II - Visor de controlo dos parâmetros do moto-gerador 1200 MW.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ANEXO IV - Visor de controlo dos parâmetros do moto-gerador 800 MW. ...</b>	<b>XVIII</b>
<b>ANEXO V - Qualidade do biogás nos 31 poços entre as datas 26/09/2013 e 16/12/2013</b>	<b>XIX</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - População residente, área e densidade populacional dos municípios do SMM do Vale do Lima e Baixo.....	4
Tabela 2.2 - Localizações das lixeiras seladas, com a criação do ASVC.....	5
Tabela 3.1 - Requisitos mínimos a que os aterros devem obedecer (adaptado a DL 183/2009).....	17
Tabela 3.2 - Constituição do biogás (Tchobanoglous, G. <i>et alli.</i> 1993).....	19
Tabela 3.3 - Os componentes típicos e impurezas do biogás (adaptado Deublein, D. & Steinhauser, A., 2008) .....	19
Tabela 3.4 - Duração de cada fase na decomposição de resíduos (adaptado Augenstein & Pacey 1991) .....	23
Tabela 3.5- Distribuição percentual típico de gases de aterro, durante os primeiros 48 meses (adaptado Tchobanoglous e Kreith, 2002).....	23
Tabela 3.6 - Fase Térmica e valores típicos de tempo de retenção (adaptado Seadi, <i>et al.</i> 2008).....	29
Tabela 3.7 - Rendimento de biogás em função da temperatura (adaptado TaTEDO).....	30
Tabela 3.8 - Eficaz de / valor do pH na produção de metano (adaptado TaTEDO).....	30
Tabela 5.1 - Critérios para determinação na abertura ou fecho da válvula ramal no ASVC .....	51
Tabela 5.2 -Campanha de qualidade final de biogás à entrada do CEP.....	52
Tabela 5.3 - Recapitulativo das posições das válvulas de ramais e das respetivas depressões depois da campanha de medição do 20/12/2013 .....	55
Tabela 5.4 - Resultados da campanha de medição da temperatura do biogás no ASVC realizado no dia 20/12/2013 .....	57
Tabela 6.1 - Resultados do cálculo de fluxo de gases e percentagem de retenção.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-Municípios que integram o Sistema Multimunicipal do Vale do Lima e Baixo Cávado.....	3
Figura 2.2 - Vista aérea das instalações do Aterro Sanitário de Vale de Lima e Baixo Cávado.....	4
Figura 2.3 - Fluxo de transporte e modelo técnico implementado no SMM do Vale Lima e Baixo Cávado .....	6
Figura 2.4 – Esquema de Localização das principais infraestruturas da RESULIMA.....	10
Figura 3.1- Classificação de resíduos sólidos quanto à sua origem e características.....	15
Figura 3.2-Utilização do biogás com algumas equivalências (adaptado “Biomassa: Digeradores Anaeróbios”, 2007) .....	20
Figura 3.3 - Fases de geração de gases em aterro (adaptado Williams, 2005).....	21
Figura 3.4- Comparações típicas de gás de aterro de um clima seco e húmido (adaptado de CRA, 2010).....	28
Figura 3.5- Potenciais impactos causados pelo biogás num aterro (adaptado CRA, 2010)	34
Figura 3.6 - Exibição de Caminhos Potenciais do Gás de Aterro ( adaptado CRA, 2010).	36
Figura 3.7 - Visão geral do uso do Biogás (adaptado <i>Seadi, et al.</i> 2008) .....	36
Figura 4.1- Imagem de acessibilidade ao ASVC.....	37
Figura 4.2-Corte esquemático do aterro sanitário .....	39
Figura 4.3 – Rede de captação do biogás do ASVC.....	42
Figura 5.1 - Medição da qualidade do biogás.....	49
Figura .5.2 - Medições da qualidade do biogás na conduta de encaminhamento ao CEP ..	51
Figura .5.3 – Medição da depressão do biogás nos poços. ....	54
Figura .5.4-Medição de temperatura nas válvulas junto a cabeça dos poços. ....	56
Figura .6.1-Corte ilustrativo do alvéolo nº 5 .....	59
Figura .6.2-Localização dos pontos sobre planta topográfica do alvéolo nº5 .....	59
Figura .6.3- Projeto da placa de fluxo de biogás .....	61
Figura .6.4-Instalação e leitura da concentração dos gases na camada de cobertura do ASVC .....	64
Figura .6.5-Instalação e leitura da placa sobre a massa de resíduos.....	64
Figura .6.6-Instalação da placa de fluxo sobre a fissura.....	65

## 1 INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é uma das principais formas de deposição de resíduos urbanos no mundo. Com efeito, mais de 60% dos resíduos são aterrados, em aterros sanitários ou em lixeiras a céu aberto (ISWA, 2015) Os resíduos urbanos depositados em aterros rapidamente permanecem em condições anaeróbias e entram em decomposição gerando o biogás que pode afetar diretamente o meio ambiente, caso não seja convenientemente drenado e tratado. Num aterro sanitário procede-se à drenagem do biogás através de poços de desgaseificação, no entanto, muito gás é emitido sem controlo, são as emissões fugidias, cuja emissão é descontrolada, constituindo um grave problema de poluição atmosférica local e global que precisa ser mitigado.

O biogás, composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), resulta da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente no maciço de resíduos aterrados, que se dá através da ação microbiana, cujos principais responsáveis são bactérias.

O gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, equivalente a aproximadamente 21 vezes o efeito do  $\text{CO}_2$  no aprisionamento de calor na atmosfera.

A captação do biogás para reaproveitamento como combustível para a produção de energia elétrica tem vindo a aumentar nas últimas décadas e até a ser incentivado, além disso, minimiza a migração dos gases para o ambiente.

Em aterros baseados em critérios de engenharia, a camada de cobertura final é fundamental para o impedimento da passagem desses gases para a atmosfera, por ser o elo entre o ambiente externo e o interno. Camadas mal dimensionadas podem ocasionar problemas ambientais.

## 1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo monitorização da qualidade e quantidade do biogás, investigação de campo para a determinação de emissões de biogás através das camadas de cobertura do Aterro Sanitário Vale do Lima Baixo Cavado.

Assim, pretende-se com este projeto determinar quais os fatores a ter em consideração na obtenção de uma correta valorização energética de biogás produzido num aterro sanitário, em particular na RESULIMA. Procurou-se também obter a informação necessária e exigida sobre a evolução do aterro e a potencialidade de produção do biogás. Foram abordados parâmetros de extrema importância na valorização do biogás como a qualidade, a pressão e a temperatura, de forma a compreender todo o processo da valorização.

Para finalizar, realizou-se ensaios de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na empresa multimunicipal RESULIMA, sediada em Viana do Castelo e que se dedica ao tratamento dos resíduos urbanos de 6 municípios da região. Através de protocolo com a Escola Superior de Tecnologia e Gestão, a direção da empresa concedeu todo o apoio logístico para a investigação de campo, bem como disponibilizou as suas instalações e técnicos, para além da informação de dados históricos de gestão do aterro para a elaboração do presente trabalho.

### 2.1 Caraterização da empresa

A empresa “RESULIMA – Valorização e Tratamento de Resíduos, S.A.”, criada em 1996 pelo Decreto-Lei 114/96 de 5 de Agosto, é a concessionária de gestão e exploração do Sistema Multimunicipal (SMM) de triagem, recolha seletiva (RS), valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) do Vale do Lima e Baixo Cávado, que abrange os municípios de Arcos de Valdevez, Barcelos, Esposende, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo, cuja população é de 313 141 habitantes, produzindo cerca de 356 t/dia de resíduos urbanos (dados de 2015).

Apresenta-se na Figura 2.1 mapa de localização dos municípios que integram o Sistema Multimunicipal do Vale do Lima e Baixo Cávado no contexto da região Norte de Portugal.



**Figura 2.1-Municípios que integram o Sistema Multimunicipal do Vale do Lima e Baixo Cávado**

Em 26 de Outubro de 1996, a RESULIMA assinou com o estado Português um contrato de concessão de 25 anos relativo ao Sistema Multimunicipal. No âmbito desta concessão foi construído o Aterro Sanitário de Vale de Lima e Baixo Cávado (ASVC) localizado na



freguesia de Vila Fria, concelho de Viana do Castelo (Figura 2.2), tendo a sua exploração iniciado a 18 de Dezembro de 1998.



**Figura 2.2 - Vista aérea das instalações do Aterro Sanitário de Vale de Lima e Baixo Cávado**

O SMM abrange um área de intervenção de 1 778 km<sup>2</sup> englobando um total de 271 freguesias. A população e área abrangidas, assim como a densidade populacional, são indicadas na Tabela 2.1. Os dados indicados baseiam-se na população residente em cada município segundo os dados do “Censos 2011”.

**Tabela 2.1 - População residente, área e densidade populacional dos municípios do SMM do Vale do Lima e Baixo**

<b>Concelho</b>	<b>População (nº habitantes)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade populacional (habitantes/Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Arcos de Valdevez</b>	22 847	447,6	51,0
<b>Barcelos</b>	120 391	378,9	317,7
<b>Esposende</b>	34 254	95,4	359,1
<b>Ponte da Barca</b>	12 061	182,1	66,2
<b>Ponte de Lima</b>	43 498	320,3	135,8
<b>Viana do Castelo</b>	88 725	318,6	278,5
<b>Total/média</b>	321 776	1 742,9	<u>184,6</u>

O SMM serve atualmente cerca de 321 776 habitantes e a densidade populacional dos municípios que o constituem é muito variável, sendo a mais elevada a do concelho de Esposende, com cerca de 359,1 hab/km<sup>2</sup> e a mais baixa a do concelho de Arcos de Valdevez, com cerca de 51,0 hab/km<sup>2</sup>.

## 2.2 Modelo técnico

O modelo técnico definido para a empresa contemplou, na solução integrada de gestão de resíduos sólidos urbanos, a resolução de um passivo ambiental existente em 1996, constituído por lixeiras exploradas de modo descontrolado e sem quaisquer sistemas de proteção ambiental. No entanto, antes da conclusão da selagem das cinco lixeiras (ano 2000), foi necessário construir e iniciar a exploração do aterro sanitário localizado nos terrenos contíguos à antiga lixeira de Viana do Castelo, localizado na freguesia de Vila Fria, concelho de Viana do Castelo, para que os RSU produzidos na sua área de influência tivessem local de deposição e tratamento.

Na Tabela 2.2, são apresentadas as localizações das cinco lixeiras seladas, com criação do SMM.

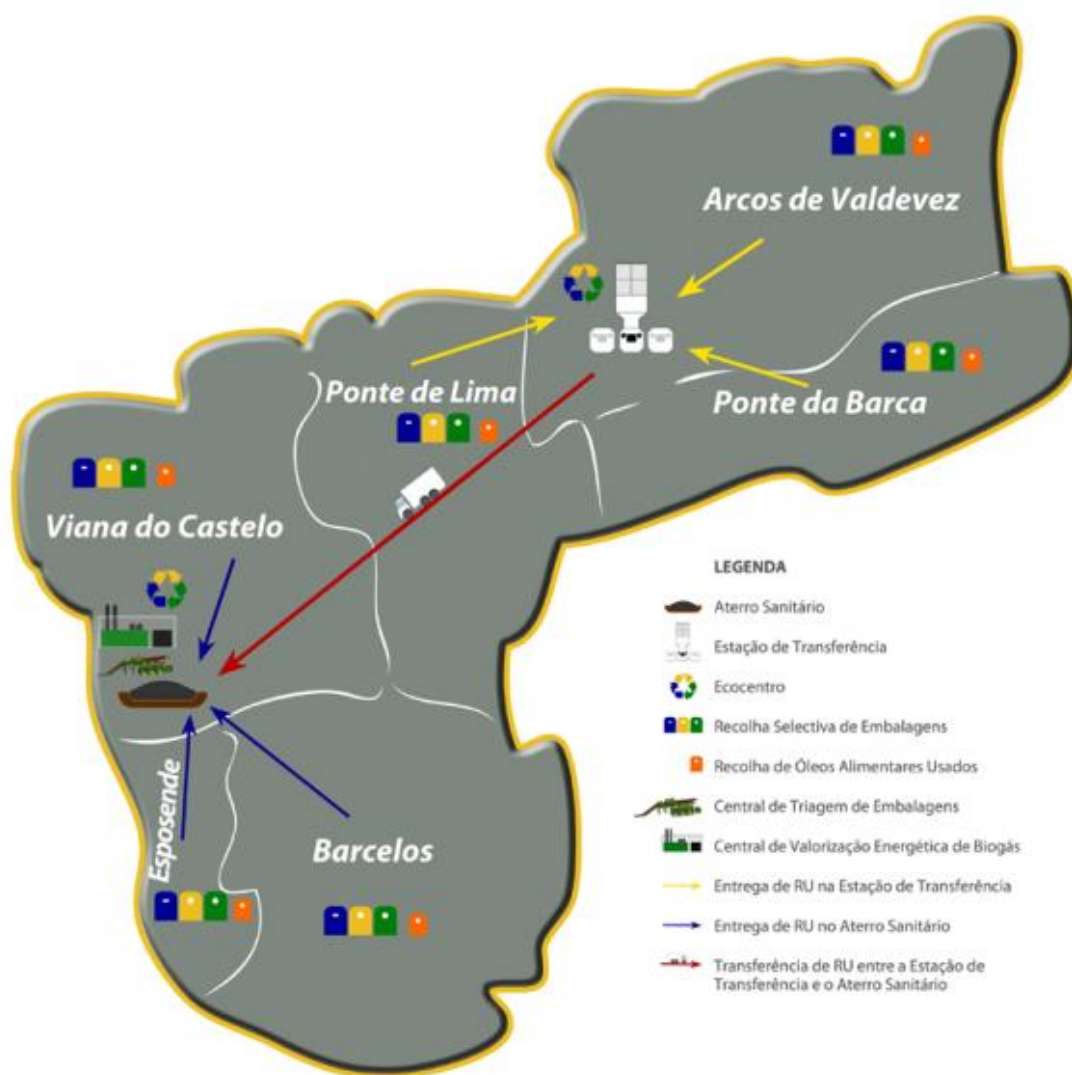
**Tabela 2.2 - Localizações das lixeiras seladas, com a criação do ASVC**

Concelho	Freguesia	Data de encerramento
<b>Arcos de Valdevez</b>	Oliveira	Março 2000
<b>Barcelos</b>	Gamil	Julho 2000
<b>Ponte da Barca</b>	Sampriz	Março 2000
<b>Ponte de Lima</b>	Fornelos	Fevereiro 2000
<b>Viana do Castelo</b>	Vila Fria	Dezembro 1998

Devido à distância geográfica entre os centros de produção de resíduos de alguns dos municípios e o aterro sanitário e tendo em consideração a minimização dos custos de transporte ao destino final, foi decidido construir uma estação de transferência em Arcos de Valdevez (ETAV) para servir o próprio município de Arcos de Valdevez, o município de Ponte da Barca e a parte Norte do município de Ponte de Lima.

O modelo técnico contempla ainda outras infraestruturas de que se destaca pela importância: uma central de triagem junto ao aterro que cumpre os requisitos qualitativos da Sociedade Ponto Verde (SPV), que entrou em funcionamento em Maio 1999; dois ecocentros (localizados um na ETAV e o outro no interior do perímetro do aterro sanitário em Vila Fria), e mais recentemente um Centro Electroprodutor de valorização do biogás (CEP).

Apresenta-se na Figura 2.3 uma representação cartográfica do modelo técnico atualmente em exploração na RESULIMA.



**Figura 2.3 - Fluxo de transporte e modelo técnico implementado no SMM do Vale Lima e Baixo Cávado**

A recolha seletiva de embalagens é atualmente realizada nos 6 municípios. A rede de ecopontos é constituída por um total de 948 ecopontos, quer de superfície quer subterrâneos, criteriosamente localizados, que dá uma média de 1 ecoponto por cada 340 habitantes, de acordo com os dados populacionais, foi implementada em Maio de 1999 e tem vindo a ser gradualmente reforçada.

Em agosto de 2010 entrou igualmente em funcionamento o centro electroprodutor (CEP), com uma capacidade instalada de 2,0 MW e que permite produzir e injetar na rede elétrica

nacional, por ano, cerca de 15 GWh de eletricidade (o que dá para alimentar cerca de 4.808 habitações) a partir do biogás gerado no aterro sanitário.

No 2º semestre de 2011, a Resulima iniciou a recolha seletiva de óleos alimentares usados (OAU), na sua área de intervenção. Para esse efeito possui uma rede de oleões, ainda em implementação, duas viaturas de recolha e uma plataforma equipada para pré-tratamento e armazenamento temporário do produto recolhido.

### **2.3 Infraestruturas**

O aterro sanitário possui os seguintes sistemas de proteção ambiental ativos/passivos principais:

- Sistema de impermeabilização de fundo e taludes, da célula;
- Drenagem, captação e tratamento de lixiviados;
- Drenagem, captação e valorização energética /tratamento de biogás.

Este aterro, vedado em toda a periferia, contempla igualmente as instalações de apoio necessárias ao seu bom funcionamento, nomeadamente:

- Portaria;
- Báscula de pesagem;
- Edifício de receção/administrativo/técnico e social;
- Armazém, oficina e fossa de manutenção;
- Sistema de lavagem de rodas;
- Reservatório subterrâneo de armazenamento de gasóleo e posto de abastecimento;
- Edifício com unidade de prensagem e enfardamento de RSU, com dois fossos laterais;
- Prensa enfardadora de papel, cartão e embalagens plásticas;
- Prensa enfardadora de embalagens metálicas;
- Ecocentro para armazenamento de resíduos de grandes dimensões;
- Central de triagem, com áreas de armazenamento;
- Duas plataformas de armazenamento de vidro;
- Plataformas específicas para pré-tratamento, triagem e/ou armazenamento temporário de sucata, pneus, pilhas e acumuladores usados, resíduos de equipamentos etéricos e eletrónicos (REEE) e OAU;

- Sistemas de neutralização de odores;
- Estação de Tratamento de Águas Lixivantes (ETAL);
- Laboratório de autocontrolo;
- Central de Valorização Energética do Biogás (CVEB), constituída por dois motogeradores (FF4 e FF5);
- Um queimador de biogás (FF6), de apoio ao CEP, sendo que os três queimadores anteriormente existentes (FF1, FF2 e FF3) trabalharam durante 2010 e foram entretanto desativados.

Para além destas instalações o aterro sanitário é ainda servido por:

- Vias de circulação internas;
- Parque de terras;
- Piezómetros para controlo da qualidade e nível das águas subterrâneas;
- Estação meteorológica automática (EMA);
- Rede de abastecimento de água e rede de incêndio;
- Rede de comunicações e dados;
- Rede de drenagem de águas residuais industriais;
- Rede de drenagem de águas residuais domésticas;
- Rede de drenagem de águas pluviais;
- Rede de drenagem de águas subsuperficiais;
- Rede elétrica e de iluminação incluindo posto de transformação e seccionamento.

A ETAL, equipamento relevante associado ao aterro sanitário, é constituída pelos seguintes elementos principais:

- Unidade de pré-tratamento, para remoção de sólidos grosseiros num crivo rotativo e subsequente decantação de inorgânicos pesados (vidro, areia, ...);
- Zona A, com uma lagoa para regularização de caudal e uma lagoa de emergência;
- Zona B, composta por:
  - ✓ Tratamento biológico - com duas lagoas arejadas (lamas ativadas), duas lagoas anaeróbias, um tanque anóxico e um decantador biológico;
  - ✓ Tratamento físico-químico - com tanque de oxidação química e dois precipitadores químicos;

- ✓ Tratamento de lamas - um espessador de lamas, uma centrífuga e filtro de prensa.
- 9 estações elevatórias;
- Condução de elevação/transporte do lixiviado pré tratado até ao ponto de descarga no coletor municipal;
- Infraestruturas, tanques e equipamentos mecânicos e eletromecânicos associados ao processo instalado;
- Sistema de supervisão.

A ETAL possui uma capacidade máxima de tratamento projetada inicialmente de 176 m<sup>3</sup>/dia, podendo absorver mais cerca de 20% de caudal diário nos períodos críticos, fruto das alterações que sofreu em 2003.

Apresenta-se na Figura 2.4 um esquema da localização das infraestruturas da RESULIMA.



Figura 2.4 – Esquema de Localização das principais infraestruturas da RESULIMA

## 2.4 Receção de resíduos

Os resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente e os resíduos equiparados a urbanos (RUeq) após pesagem eram descarregados na fossa da prensa para serem compactados e enfardados antes da sua deposição no aterro, transportados por viaturas próprias da empresa. A partir do ano 2011, a empresa decidiu fazer a compactação in situ através de um compactador do tipo pés-de-carneiro, de 26 toneladas de peso.

No caso da prensa, os resíduos são elevados por um tapete até à câmara de compactação onde são prensados e depois cintados com fita de polietileno de alta densidade em fardos de forma cúbica, de volume equivalente a 1,5 m<sup>3</sup> e densidade aproximada de 1,1 ton/m<sup>3</sup>. Posteriormente os fardos são carregados por uma pá-carregadora de rodas e seguem para deposição na célula em camiões de estrada liso adaptados à circulação sobre resíduos, onde são novamente descarregados e empilhados numa frente de trabalho diária limitada.

No caso da compactação in situ, os RU são transportados até ao aterro sanitário pelas viaturas dos serviços municipais, nos casos dos municípios de Barcelos, Esposende, Ponte de Lima (em parte, por opção própria) e Viana do Castelo, ou por viaturas de transferência de resíduos pertencentes à Resulima, desde a ETAV até ao aterro, nos casos dos municípios de Arcos de Valdevez, Ponte da Barca e Ponte de Lima (a outra parte). No caso dos RUeq são os próprios produtores particulares ou transportadores habilitados que efetuam o transporte.

Os resíduos de fluxos específicos/especiais e os resíduos de embalagem valorizáveis recolhidos seletivamente por viaturas próprias da Resulima nos ecopontos ou entregues voluntariamente nos ecocentros ou plataformas licenciadas são encaminhados para a central de triagem ou para uma das plataformas de pré-tratamento, triagem e/ou armazenamento temporário existentes nas instalações, para posterior envio para um operador ou retomador licenciado.

O Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado (Viana do Castelo) recebe também resíduos da construção e demolição (RCD) inertes para cobertura temporária ou definitiva dos resíduos e consolidação de caminhos de acesso no interior da célula de deposição nos termos da Licença Ambiental 50/2007.



### 3 ESTADO DA ARTE

#### 3.1 Enquadramento legislativo

Portugal encetou uma revolução na área dos resíduos sólidos a partir, sobretudo, de 1997 com a publicação do PERSU (Plano estratégico dos resíduos sólidos urbanos), abrindo o setor à modernidade com o estabelecimento de metas quantitativas e temporais para atingir os objetivos previstos. Este programa teve o apoio financeiro da União Europeia (UE) através do fundo de coesão para concretização das obras de encerramento e para a construção de modernas instalações de tratamento de resíduos.

Com efeito, foram encerradas as lixeiras existentes no país, cerca de 341, e constituídos 40 empresas de gestão de resíduos, em associações de municípios com o Estado (sistemas multimunicipais) e associação de municípios (sistemas intermunicipais).

Tal como previsto neste primeiro PERSU, 5 anos depois foi objeto de uma revisão do seu funcionamento e do cumprimento de metas, surgindo o PERSU II e um conjunto de legislação resultante da transposição de Diretivas da UE.

Pela importância, resume-se em primeiro lugar o PERSU II, seguido dos principais diplomas legais que governam juridicamente o setor em Portugal.

##### *a) Plano Estratégico dos Resíduos Urbanos (PERSU II);*

O *PERSU II* é o resultado da revisão da primeira edição do Plano, aprovado em 1997. Nele se definem os eixos de atuação, objetivos e metas para o horizonte 2007 – 2016, identificando os intervenientes e efetua a articulação com o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN), apresentando um Plano de investimento e estipula regras para a sua aplicação e monitorização.

Os eixos de atuação do PERSU II para o horizonte 2007 – 2016 assentam nos seguintes domínios:

- ✓ Prevenção: redução da quantidade e perigosidade dos resíduos;
- ✓ Sensibilização e mobilização dos cidadãos;
- ✓ Qualificação e otimização da gestão de resíduos;
- ✓ Sistema de informação como pilar de gestão dos RSU;
- ✓ Qualificação e otimização da intervenção das entidades públicas no âmbito da gestão de RSU.

- b) *D.L. n.º 183/2009, de 10 de Agosto, estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na conceção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, de 19 de Dezembro de 2002, e revoga o DL 152/2002, de 23 de Maio.*
- ✓ *Declaração de Retificação 74/2009, de 9 de Outubro, retifica o D.L. n.º 183/2009, de 10 de Agosto;*
  - ✓ *D.L. n.º 84/2011, de 20 de Junho, Revoga as alíneas b), c) e g) do n.º 1 do artigo 13º do D.L. n.º 183/2009, de 10 de Agosto;*
- c) *D.L. n.º 178/2006, de 5 de Setembro, que estabelece o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Diretiva 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro:*
- ✓ *Lei 64- A/2008, de 31 de Dezembro, altera: artigo 58º e 60º do D.L. n.º 178/2006, de 5 de Setembro;*
  - ✓ *D.L. n.º 183/2009, de 10 de Agosto, revoga o artigo 53.º e altera o artigo 76.º do D.L. n.º 178/2006, de 5 de Setembro;*
  - ✓ *D.L. n.º 73/2011, de 17 de Junho, procede à terceira alteração ao D.L. n.º 178/2006, de 5 de Setembro, e revoga os artºs 19.º e 25.º, o n.º 2 do artº 28.º e o n.º 4 do artº 31.º, as alíneas c), e), h) e l) do n.º 1 do artº 32.º, os n.ºs 3, 4 e 5 do artº 35.º, as alíneas b), d), e), f) e g) do n.º 2 e o n.º 3 do artº 54.º e o artº 72.º.*
- d) *D.L. n.º 92/2006, de 25 de Maio, que altera o D.L. n.º 366 – A/97, de 20 de Dezembro, com as alterações introduzidas pelo D.L. n.º 162/2000, de 27 de Julho, transpondo para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2004/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro, relativa a embalagens e resíduos de embalagens.*

O decreto Lei 92/2006, para além transpor para o direito nacional os objetivos fixados a nível comunitário, define também os princípios e as normas aplicáveis à gestão das embalagens e resíduos de embalagens em Portugal, de modo a promover a prevenção da sua produção, a reutilização de embalagens usados, a reciclagem e outras formas de valorização e consequente redução da sua eliminação final.

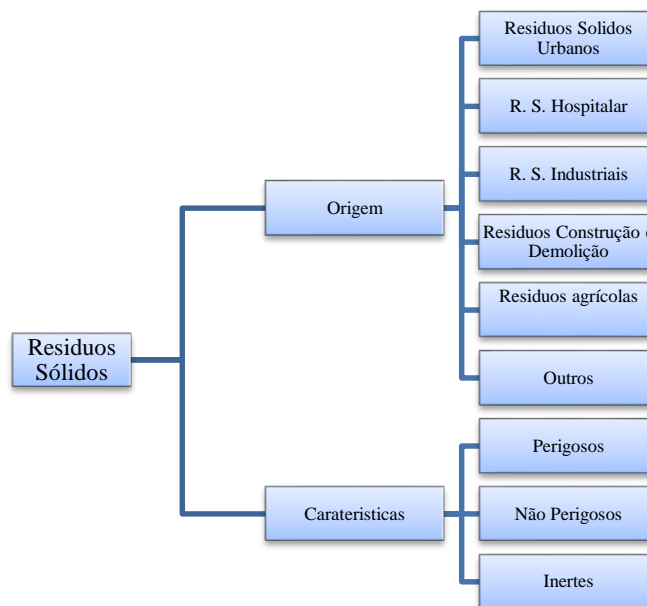
No Anexo I, encontra-se a síntese de objetivos do *PERSU II*, metas do *D.L. n.º 183/2009*, de 10 de Agosto, e os principais objetivos do *D.L. n.º 92/2006*, de 25 de Maio.

O SMM do Vale do Lima e Baixo Cávado deriva de um quadro legislativo gizado pelo *D.L. n.º 294/94*, de 16 de Novembro, que consagrou quadro legal de carácter geral contendo os principais orientadores do regime jurídico de construção, exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de tratamento de resíduos sólidos urbanos, quando atribuídos por concessão a empresa pública ou sociedade de capitais exclusiva ou maioritariamente públicos. Este diploma foi alterado pelo *D.L. n.º 195/2009*, de 20 de Agosto.

### **3.2 Classificação de Resíduos**

De acordo com o Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de Junho, existe uma grande variedade de classificação de resíduos sendo o próprio “resíduo” definido como *qualsquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer, nomeadamente os que estão inseridos na Lista Europeia de Resíduos (Portaria 209/2004, de 3 de Março)*. Este, surge no decorrer da atualização de normas e definições, do Decreto-Lei 178/2006, de 5 de Setembro, efetuadas pelas entidades governamentais de modo a que sejam otimizados os sistemas de recolha, triagem, valorização e eliminação de resíduos.

O referido Decreto-Lei, classifica os resíduos de acordo com a sua *origem* (doméstico, hospitalar, industrial, RCD, agrícola, etc) e as suas *características* (perigosos, não perigosos e inertes), segue (Figura 3.1).



**Figura 3.1- Classificação de resíduos sólidos quanto à sua origem e características**

As características de perigosidade são reconhecidas pelos efeitos sobre o ambiente, pessoas e animais, designadamente, o poder de *explosão*; *combustibilidade*; *inflamabilidade*; *Irritabilidade*; *nocividade* para a saúde por inalação ingestão ou penetração cutânea; *toxicidade*; *características cancerígenas*; *Corrosivo*; *infectiosas*; *corrosividade*; *toxico para produção*; *mutagenicidade*; *ecotóxico* entre outros.

Com o desenvolvimento da gestão de resíduos sólidos, é importante identificar as fontes, as características e quantidades de resíduos sólidos, que é fundamental na determinação dos tipos de serviço de coleta, os tipos de veículos de coleta a serem utilizados, o tipo de instalações de processamento, e o método de disposição para ser usado (Tchobanoglous, 2003).

### 3.2.1 Classificação quanto a origem:

#### ***Resíduos Sólidos Urbanos***

São resíduos sólidos domésticos, comerciais, públicos, nomeadamente provenientes de habitações, estabelecimentos comerciais e setores públicos, bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos domésticos.

#### ***Resíduos Sólidos Hospitalares***

São resíduos sólidos resultantes de atividades de prestação de cuidados de saúde a seres humanos ou a animais, nas áreas da prevenção, diagnóstico, tratamento, reabilitação ou

investigação e ensino, bem como de outras atividades envolvendo procedimentos invasivos, tais como acupuntura, *piercings* e tatuagens.

#### ***Resíduos Sólidos Industriais***

São os resíduos sólidos gerados em processos produtivos industriais, bem como o que resulte das atividades de produção e distribuição de eletricidade, gás e água;

#### ***Resíduos de Construção e Demolição***

São resíduos sólidos provenientes de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações;

#### ***Resíduo Agrícola***

São resíduos sólidos provenientes de exploração agrícola e ou pecuária ou similar;

### **3.2.2 Classificação quanto a características:**

#### ***Resíduos perigosos***

São os resíduos que apresentam uma ou mais das características de perigosidade, abrangidos pelo Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho, Anexo III.

As características que conferem periculosidade a um resíduo são: explosão; combustibilidade; inflamabilidade; Irritabilidade; nocividade para a saúde por inalação ingestão ou penetração cutânea; toxicidade; carcinogéneas; Corrosivo; infecciosas; corrosivos; toxico para produção; mutagenicidade; ecotóxico; entre outros.

#### ***Resíduos não perigosos***

São resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes. São basicamente os resíduos com as características dos RSU.

#### ***Resíduos inertes***

São resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não pode ser solúvel nem inflamável, nem ter qualquer outro tipo de reação física ou química, e não pode ser biodegradável, nem afetar negativamente outras substâncias com as quais entre em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar.

### 3.3 Classificação e tipos de aterros sanitários

Segundo decreto-lei 183/2009, de 10 de Agosto, “aterro” é definido como “instalação de eliminação de resíduos através da sua deposição acima ou abaixo da superfície natural”. Num contexto de gestão sustentável dos resíduos, a deposição em aterro é visto em muitos aspetos como o degrau mais baixo da hierarquia das opções de eliminação de resíduos. (Williams, 2005)

A classificação dos tipos dos aterros sanitários, é feita de acordo com classificação de resíduos permitidos a serem depositados em aterro (DL 183/2009):

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

A conceção de um aterro deve garantir as condições necessárias para evitar a poluição do ar, do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais, os aterros, em função da classificação, devem obedecer aos requisitos mínimos apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Requisitos mínimos a que os aterros devem obedecer (adaptado a DL 183/2009)**

Classe do aterro	Aterro para resíduos Inertes	Aterro para resíduos não perigosos	Aterro para resíduos perigosos
Sistema de proteção ambiental passivo:			
Barreira de segurança passiva	Sim	Sim	Sim
Sistema de proteção ambiental ativo:			
Barreira da 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 recolha de lixiviados		(*)	(*)
Sistema de selagem final:			
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

Os aterros devem possuir sistema de segurança ativa, com a exceção de aterros que apenas recebam resíduos inertes, que deve assegurar um grande leque de funções, relacionadas com infiltrações, proteção dos solos e eliminação ou valorização do biogás. Este sistema de proteção ativa deverá 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 lixiviado e um sistema de drenagem e tratamento de biogás.

Quanto à construção e operação dos aterros sanitários de resíduos sólidos, devem ser tomadas as seguintes medidas:

- proteger as águas superficiais e subterrâneas de possível contaminação proveniente do aterro, através de camada impermeabilizante e drenagem adequada;
- dispor, acumular e compactar diariamente os resíduos na forma de células, trabalhar com técnicas corretas para possibilitar o tráfego imediato de caminhões coletores, equipamentos e para reduzir recalques futuros do local;
- recobrir diariamente o resíduos com uma fina camada de terra para impedir a procriação de insetos e a presença de animais à procura de alimentos;
- controlar gases e líquidos que são formados no aterro, através de drenos específicos;
- manter os acessos internos e externos em boas condições, mesmo em tempo de chuva;
- isolar e tornar indevassável o aterro e evitar incômodos à vizinhança.

### **3.4 Biogás**

O biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica e sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos, composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis (PECORA, 2006).

### **3.5 Componentes do biogás**

O biogás de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é composto por vários gases, sendo o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) seus principais constituintes. A Tabela 3.2 apresenta os valores típicos de sua composição.

Tabela 3.2 - Constituição do biogás (Tchobanoglous, G. *et alli.* 1993)

Componente	Fórmula	% Volume (varia com a idade do aterro)
Metano	CH <sub>4</sub>	45 – 60
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	40 – 60
Azoto	N <sub>2</sub>	2 – 5
Oxigénio	O <sub>2</sub>	1.1 – 1.0
Aniões de enxofre	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ...	0 – 1.0
Amónia	NH <sub>3</sub>	1.1 – 1.0
Hidrogénio	H <sub>2</sub>	0 – 0.2
Monóxido de carbono	CO	0 – 0.2
Vestígias	-	0.01 – 0.6

Na Tabela 3.3, é apresentada as impurezas dos componentes típicos do biogás gerado em aterro.

Tabela 3.3 - Os componentes típicos e impurezas do biogás (adaptado Deublein, D. &amp; Steinhauser, A., 2008)

Componentes	Conteúdo	Efeitos
CO <sub>2</sub>	[25 - 50] % /Vol.	-Baixa o poder calorífico; -Aumenta o número de metano e as propriedades anti-detonante dos motores; -Causa a corrosão (baixa concentração ácido carbónico) se o gás está húmido; -Danifica as células de combustível alcalóides.
H <sub>2</sub> S	[0 - 0,5] %/Vol.	-Tem um efeito corrosivo em equipamentos e sistemas de canalização (corrosão); muitos fabricantes de motores portanto, definem um limite máximo; -Danifica os catalisadores.
Vapor de água	[1 - 5] %/Vol.	-Causa a corrosão dos equipamentos e sistemas de canalização; -Os condensados danificam instrumentos e motores; -Risco de congelamento dos sistemas de canalização e dos injetores.
Poeiras	>5µm	-Bloqueia injetores e pilhas de combustível.
N <sub>2</sub>	[0 - 5] %/Vol.	-Baixa o poder calorífico; -Aumenta as propriedades anti-detonante dos motores.
Siloxanas	0 - 50 mg m <sup>-3</sup>	-Atua como um abrasivo e danifica os motores.

### 3.6 Propriedades do biogás

O conteúdo energético de biogás a partir da digestão anaeróbia é quimicamente limitado em metano. A composição e as propriedades do biogás varia em certa medida, dependendo



do tipo de matéria-prima, sistemas de digestão, a temperatura, o tempo de retenção, etc. Considera-se que o biogás contém um teor padrão de metano de 50%, o poder calorífico é de 21 MJ /Nm<sup>3</sup>, a densidade é de 1,22 kg / Nm<sup>3</sup> e a massa é semelhante ao ar (1,29 kg / Nm<sup>3</sup>) (Seadi, *et al.* 2008).

### 3.7 Características do biogás

O biogás, devido ao seu elevado teor de metano, tem um poder calorífico superior a metade do poder calorífico do gás natural. O biogás se contiver contendo 60% de metano tem um poder calorífico de cerca de 5.500 kcal/Nm<sup>3</sup> (6,4 kWh/Nm<sup>3</sup>). Na Figura (3.2) mostra-se a utilização do biogás com algumas equivalências (“Biomasa: Digeitores Anaerobios”, 2007):

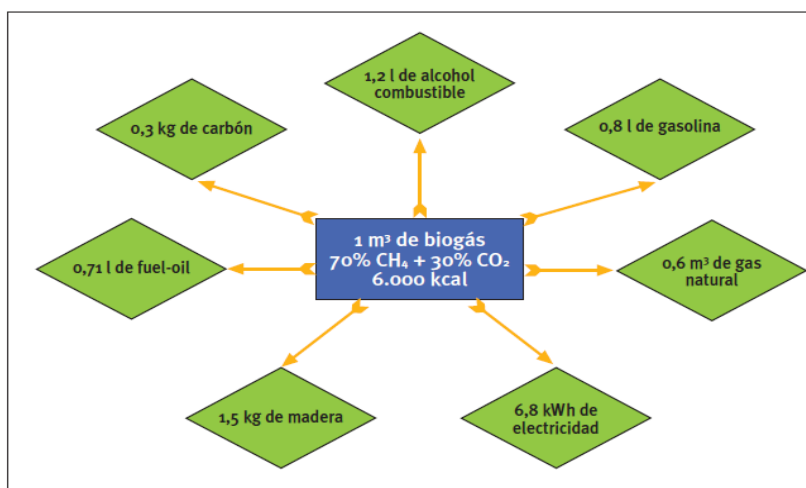


Figura 3.2-Utilização do biogás com algumas equivalências (adaptado “Biomasa: Digeitores Anaerobios”, 2007)

### 3.8 Formação do biogás

O biogás e os lixiviados (emissão líquida) são duas emissões potencialmente poluentes características dos aterros sanitários, derivadas das transformações físicas, químicas e biológicas processadas no interior da massa de resíduos por via anaeróbia (essencialmente) e pela presença de matéria orgânica putrescível. A composição do biogás é variável mas essencialmente constituído por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cujo valor percentual é quase idêntico, deixando 5% para restantes gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis (Russo, 1996). Contudo segundo Pecora (2006), este é constituído por 60% CH<sub>4</sub> e 35% CO<sub>2</sub>.

Tchobanoglous & Kreith (2002), O processo de formação do biogás pode ser dividido em 5 fases distintas, como se esquematiza na Figura 3.3:

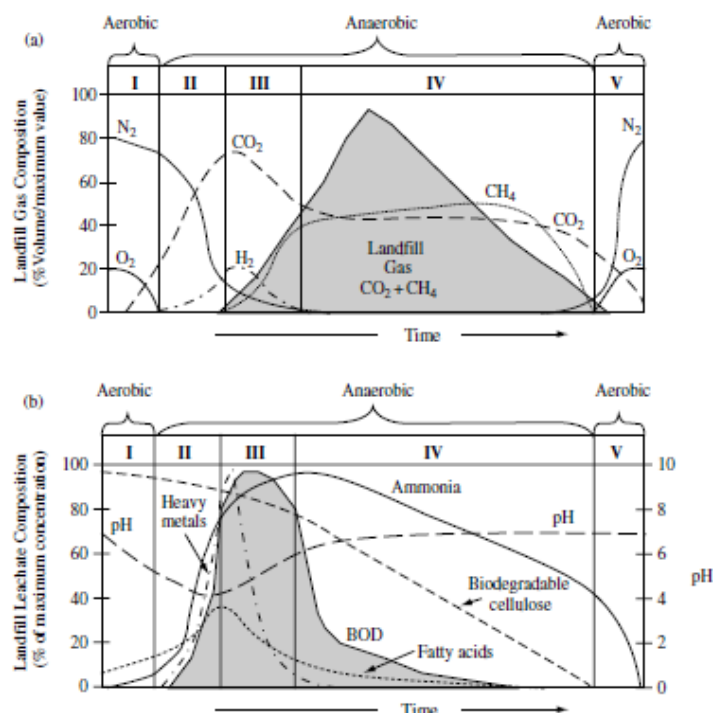


Figura 3.3 - Fases de geração de gases em aterro (adaptado Williams, 2005).

\*(a) a composição do gás de aterro e (b) a composição de lixiviado, em relação à degradação dos resíduos sólidos biodegradáveis.

### 3.8.1 Fase I - Fase Inicial

É uma fase de ajustamento dos microorganismos presentes, na qual os componentes orgânicos dos RSU sofrem uma decomposição biológica aeróbia logo que são depositados no aterro. As principais fontes de organismos responsáveis pela decomposição, são o solo utilizado para recobrimento dos resíduos, os lixiviados provenientes de sistemas de recirculação (quando houver), as lamas de ETAR quando depositados (que transportam os microorganismos decompositores de RSU).

### 3.8.2 Fase II - Fase de transição

É a uma fase caracterizada pelo início da anaerobiose no interior do aterro, funcionando como um bioreator químico. Os nitratos e sulfatos, eletrões recetores nas reações de conversão, são muitas vezes reduzidos a azoto gasoso ( $N_2$ ) e o sulfato de hidrogénio ( $H_2S$ ). O valor do pH dos lixiviados diminui devido à formação dos ácidos orgânicos e ao aumento de  $CO_2$  na massa de resíduos.

### 3.8.3 Fase III – Fase ácida

Inicia-se a formação de metano, e é acelerada com a atividade microbiana de produção de ácidos orgânicos e menores quantidade de  $H_2$ . Inicia-se a hidrólise dos componentes com maior massa molecular (lípidos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos), transformando-os em compostos passíveis, para que possam ser mais facilmente utilizados pelos microorganismos como fonte de energia e carbono. Conseqüentemente, através da acidogênese, os componentes formados anteriormente são convertidos em ácido acético, compostos de menor massa molecular e pequenas concentrações de ácido fúlvico. No final desta fase, há formação de  $CO_2$  e pequenas quantidades de  $H_2$ . O pH do lixiviado diminui para valores inferiores a 5 e verifica-se o aumento de valores da carência bioquímica de oxigênio (CBO) e da carência química de oxigênio (CQO).

### 3.8.4 Fase IV – Fase metânica

Ocorre a fermentação metanogénica, onde um grupo de microorganismos (metanogénicos ou metânicos), estritamente anaeróbios, convertem o ácido acético e o hidrogénio gasoso que foi formado na fase ácida em metano ( $CH_4$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ), dando, deste modo, origem aos dois principais constituintes do biogás. Os valores do pH tornam-se neutros [6.8 – 8].

### 3.8.5 Fase V – Fase de maturação

Ocorre após a conversão dos compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. Como a humidade continua a migrar pelo aterro sanitário, a quantidade de material biodegradável inacessível passa a estar disponível, sendo posteriormente convertidos por microorganismos. Nesta fase há uma diminuição significativa da taxa de produção de biogás, porque os substratos que permanecem no aterro sanitário são de biodegradabilidade lenta.

A duração e eficiência de cada uma das fases descritas depende das características do aterro, ou seja, da distribuição da matéria orgânica e sua quantidade, do clima e modo de compactação (grau de compactação, por exemplo). A ausência de água e elevada compactação dos resíduos retardam o processo de degradação. Nestas condições, as produções de gás de aterro sanitário são mais lentas e em menor quantidade. (Tchobanoglous & Kreith, 2002). Segundo Augenstein & Pacey (1991), a duração de cada etapa está descrita na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 - Duração de cada fase na decomposição de resíduos (adaptado Augenstein & Pacey 1991)**

Fases	Intervalo de duração das fases
I	Algumas horas a 1 semana
II	1 mês a 6 meses
III	3 meses a 3 anos
IV	8 anos a 40 anos
V	1 ano a mais de 40 anos

Normalmente, a taxa de decomposição dos resíduos sólidos, atinge o seu máximo em 2 anos diminuindo até aos 10 anos, quando praticamente a sua produção é terminada. No entanto, é de referenciar que atividade no interior do aterro sanitário pode prolongar-se para além de 25 anos. (Russo, 1996)

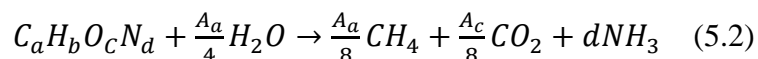
A Tabela 3.5 apresenta distribuição de gases de aterro sanitário ao longo do tempo, após encerramento da célula ou alvéolo.

**Tabela 3.5- Distribuição percentual típico de gases de aterro, durante os primeiros 48 meses (adaptado Tchobanoglous e Kreith, 2002)**

Intervalo de tempo após encerramento da célula (meses)	Percentagem média por volume		
	Azoto, N <sub>2</sub>	Dioxido de Carbono, CO <sub>2</sub>	Metano, CH <sub>4</sub>
0 – 3	5.2	88	5
3 – 6	3.8	76	21
6 – 12	0.4	65	29
12 – 18	1.1	52	40
18 – 24	0.4	53	47
24 – 30	0.2	52	48
30 – 36	1.3	46	51
36 – 42	0.9	50	47
42 – 48	0.4	51	48

Segundo Russo (1996), O volume de biogás produzido durante a decomposição anaeróbia dos resíduos, depende de vários fatores. Podendo estimar-se a quantidade de biogás produzido num aterro considerando que a matéria orgânica nos RSU, com exceção dos plásticos, é representada pela fórmula  $C_aH_bO_cN_d$  e assumindo-se a decomposição da matéria orgânica em CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. O volume total de gás estima-se através da seguinte equação:

**Equação 3.1-Estimar volume total de biogás (Tchobanoglous, G. et alli. , 1993)**



em que:

$$A_a = 4a - b - 2c - 3d$$

$$A_c = 4a - b + 2c + 3d$$

Pode-se assumir os seguintes coeficientes  $a = 75$ ;  $H = 22$ ;  $O = 55$  e  $N = 1$ , como representativos da fração rapidamente biodegradável dos RSU e que é responsável pela produção de gás.

Aplicando a Equação 5.2 pode determinar-se a quantidade máxima possível de produção de biogás em  $874 \text{ m}^3/\text{ton}$  de matéria orgânica biodegradável decomposta em condições ótimas, que corresponderá mais ou menos a cerca de 2,5 ton de RSU. Considerando cerca de 40% de matéria orgânica biodegradável nos RSU, o biogás formado  $350 \text{ m}^3/\text{ton}$  de RSU. No entanto, tal não acontece na realidade porque não existem condições para a processarem integralmente as transformações em ambiente ótimo, devido a multiplicidade de fatores que não é possível conjuga-los todos ao nível ótimo. Deste modo, se considerarmos um rendimento aproximadamente 60% pode obter-se até um valor de  $200 \text{ m}^3/\text{ton}$  RSU ou  $520 \text{ m}^3/\text{ton}$  de matéria orgânica biodegradável destruída biologicamente, como valores para efeitos de avaliação económica do aproveitamento do biogás. (Russo, 1996)

Na prática, devido aos múltiplos fatores poderemos prever uma eficiência de 50% a 60%, o que nos dará uma excelente produção de cerca de  $200 \text{ m}^3/\text{toneladas}$  como aceitável. Deste modo, o aproveitamento energético do biogás produzido num aterro só é rentável para deposições diárias de 200 toneladas de RSU. Devendo o biogás ser queimado em tocha para valores inferiores, com um tempo de residência mínima de 0,3 a 0,5 segundos na câmara de combustão, a uma temperatura de pelo menos  $850^\circ\text{C}$ , para destruir e minimizar o efeito da emissão de gases nocivos (Russo, 1996).

### **3.9 Fatores que influenciam a Simbiose de bactérias na produção de metano**

#### **3.9.1 Simbiose de bactérias**

As Bactérias produtoras de ácido e metano agem de um modo simbiótico. Por um lado, a bactéria produtora de ácido cria uma atmosfera com parâmetros ideais para a bactéria produtora de metano (condições anaeróbias, compostos com baixo peso molecular). Por outro lado, as bactérias produtoras de metano utilizam os intermediários das bactérias produtoras de ácido. Se não houver consumo dos intermediários, desenvolvem-se condições tóxicas para os microrganismos produtores de ácido. Nenhuma bactéria é capaz de produzir produtos de fermentação sozinha. A atividade metabólica envolvida na metanização biológica é dependente dos seguintes fatores (Asgari, *et al.* 2011):

#### **3.9.2 Temperatura de substrato**

A fermentação anaeróbia é possível entre as 3°C e aproximadamente, 70°C. A taxa de produção de metano bacteriológica aumenta com a temperatura. Uma vez que, no entanto, a quantidade de amónia livre também aumenta com a temperatura, o desempenho bio-digestivo pode ser inibido ou mesmo reduzido. Se a temperatura da biomassa for inferior a 15°C, a produção de biogás será muito baixa, deixando de ser economicamente viável. O processo de bio-metanização é sensível a mudanças de temperatura (Asgari, *et al.* 2011).

#### **3.9.3 Nutrientes Disponíveis**

Para as bactérias crescerem é necessário mais do que fornecimento de substâncias orgânicas, como fonte de carbono e energia. As bactérias necessitam também de uma fonte de minerais. Além de carbono, oxigénio, hidrogénio, a geração de biomassa necessita também de um fornecimento adequado de azoto, enxofre, fosforo, potássio, cálcio, magnésio e uma número de elementos vestigiais de manganês, ferro, etc. Substratos “normais”, tais como, resíduos da agricultura ou lamas municipais geralmente contem quantidades adequadas dos elementos mencionados. Uma concentração alta de quaisquer substâncias individual tem um efeito inibitório(Asgari, *et al.* 2011).

#### **3.9.4 Tipo de batch e plantas contínuas**

O tempo de retenção só pode ser definido com precisão em instalações tipo Batch. A eficácia do tempo de retenção pode variar de acordo com os componentes individuais do

substrato. A seleção de um tempo de retenção adequado depende, assim, não apenas da temperatura do processo, mas também do tipo de substrato usado (Asgari, *et al.* 2011).

### 3.9.5 Valor de pH

As bactérias produtoras de metano vivem melhor em condições neutras a ligeiramente alcalinas. Uma vez que o processo de fermentação está estabilizado em condições anaeróbias, o pH terá normalmente valores entre 7 e 8.5. Devido ao efeito tampão do dióxido de carbono - bicarbonato ( $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3$ ) e amônia – amoníaco ( $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$ ), o nível do pH raramente é tomada como uma medida de substratos ácidos ou um potencial de produção de biogás. Um digestor que contém uma elevada concentração de acidez volátil, necessita de um valor de pH maior que o normal. Se o valor do pH diminuir abaixo dos 6.2, terá uma efeito tóxico sobre as bactérias metanogénicas (Asgari, *et al.* 2011).

### 3.9.6 Fatores inibitórios

A presença de metais pesados, antibióticos, e detergentes, pode ter um efeito inibitório no processo de biometanização. Chumbo, cobre e zinco, por ordem decrescente são tóxicos para a biometanogénese. Leva a uma concentração de 10 microgramas por ml, para a produção de metano. O ferro não produz qualquer mudança no processo, no entanto o manganês estimula a taxa de produção de metano. A toxicidade do chumbo, cobre e zinco para a bactéria metalogénica e para a produção de metano depende da dose, mas para o crescimento da bactéria actinogénica é prejudicial em concentrações mas elevadas (2.5 – 10). O manganês estimula apenas o crescimento de bactérias metanogénicas (Asgari, *et al.* 2011).

### 3.9.7 Inibição de azoto e relação C/N:

#### *Inibição de Azoto*

Todos os substratos contem nitrogénio. Para valores de pH altos, mesmo as baixas concentrações de nitrogénio podem inibir o processo de fermentação. Ocorre uma inibição notável, a uma concentração de azoto de cerca 1700mg de azoto de amónia ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ ), por litro de substrato. No entanto, dado o tempo suficiente, os metanogénese são capazes de se adaptar a concentrações de  $\text{NH}_4\text{-N}$  no intervalo de 5000-7000 mg/l de substrato, sendo que o principal pré-requisito é que o nível de amoníaco não exceda os 200-300 mg/l de  $\text{NH}_3\text{-N}$  por litro de substrato. A taxa de dissociação de amônia em agua depende do processo de temperatura e do valor do pH da lama do substrato (Asgari, *et al.* 2011).

### **Relação C/N**

Os Microorganismos precisam tanto de nitrogénio como carbono para assimilação nas suas estruturas celulares. Várias experiências demonstram que a atividade metabólica das bactérias metanogénicas pode ser otimizada numa relação C/N aproximada de 8 – 20, variando de caso para caso, dependendo da natureza do substrato (Asgari, *et al.* 2011).

### **3.10 Fatores que influenciam a degradação de resíduos em aterros e produção de biogás:**

A produção de biogás depende de vários fatores, tais como: características de aterro sanitário, caracterização dos RSU, distribuição dos RSU no aterro, teor da humidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, distribuição da água nos alvéolos, grau inicial de compactação (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

#### **3.10.1 Características de Aterro Sanitário**

Os aterros com profundidades superiores a 5 metros tendem a desenvolver condições anaeróbias e maiores quantidades de gases, ao contrário dos aterros com pouca profundidade permitindo circulação do ar, conseqüentemente, baixa a atividade anaeróbia e reduz produção do biogás. No entanto, serão criadas as condições anaeróbias, estando impermeabilizado. Da mesma forma, a rápida cobertura de resíduos vai reduzir a aerobiose, este tenderá a manter as temperaturas dos resíduos. Além disso, irá reduzir a possibilidade de precipitação uma vez que esta aumenta o teor de humidade dos resíduos, conseqüentemente reduzindo a taxa inicial de biodegradação (Williams, 2005).

#### **3.10.2 Características dos resíduos**

Os principais componentes de resíduos sólidos urbanos incluem a fração biodegradável (papel e cartão, resíduos alimentares, jardim e têxteis) e não-biodegradáveis (plásticos, vidro e têxteis). A taxa de biodegradação varia dependendo da proporção dos componentes biodegradáveis nos resíduos, ou seja, segundo Pecora (2006), quanto maior a composição de material orgânico nos resíduos (celulose, proteínas e lípidos), maior a taxa de biodegradação o potencial de geração de metano e caudal de biogás.

A trituração ou pulverização de resíduos antes da sua deposição resulta num aumento da área de superfície disponível e conseqüente aumento da homogeneidade, aumentando das



taxas de degradação biológica. Além disso, a densidade ou grau de compactação dos resíduos no aterro aumenta a quantidade de material biodegradável disponível para a degradação e, por conseguinte, aumentando produção de gás de aterro por unidade de volume de espaços vazios no aterro (Williams, 2005).

### 3.10.3 Teor da humidade

O processo de biodegradação de resíduos requer humidade, que é um fator importante na determinação da produção de gases e dos lixiviados. Nos aterros com elevado teor da humidade, encontram-se um aumento a taxa de produção de gás. O teor de humidade depende da humidade inicial do resíduo, da infiltração da água da superfície e do solo e da humidade produzida na decomposição dos resíduos. O intervalo de teor de humidade dos resíduos sólidos municipais típicos varia entre 15 a 40% com um valor médio típico de 30 % (Williams, 2005).

Comparação típicas da produção de gás num aterro, com a mesma composição e a taxa de deposição de resíduos, relativamente a do clima seco e húmido, Figura 3.4.

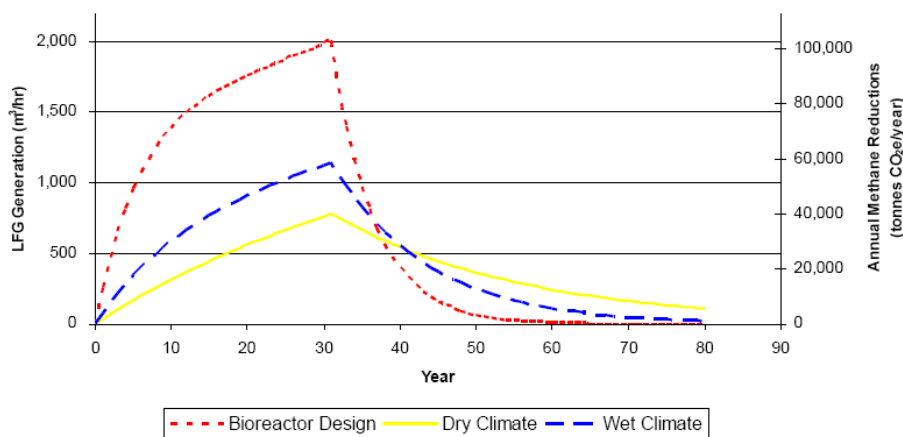


Figura 3.4- Comparações típicas de gás de aterro de um clima seco e húmido (adaptado de CRA, 2010)

### 3.10.4 Temperatura

A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, as alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas atividades envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10°C esta atividade é muito reduzida e acima de 65°C as enzimas são destruídas pelo calor (Pecora, 2006).

O processo de digestão anaeróbia pode ocorrer a diferentes temperaturas, divididas em três faixas de temperatura: psicrófilos (abaixo de 25°C), mesófilos (25°C – 45°C) e termófilas

(45°C – 70°C) (Seadi, *et al.* 2008). Existe uma relação direta entre a temperatura do processo e o tempo de retenção hidráulica (Tabela 3.6) .

**Tabela 3.6 - Fase Térmica e valores típicos de tempo de retenção (adaptado Seadi, *et al.* 2008)**

<b>Fase térmica</b>	<b>Temperaturas do processo</b>	<b>Tempo de retenção hidráulica</b>
<b>Psicrófilos</b>	<25°C	70 a 80 dias
<b>Mesófilos</b>	25° C – 45°C	30 a 40 dias
<b>Termófilas</b>	45° C – 70°C	15 a 20 dias

Chaiampo *et alli* (1996) têm monitorizado as mudanças de temperaturas, nos aterros sanitários municipais de Itália, a uma profundidade de 20 metros. Por conseguinte, averiguaram que numa faixa de 1 – 2 metros de profundidade a variação de temperatura é de 10 – 15°C, de 3 - 5 metros a temperatura varia entre 35 – 40°C e de 5 – 20 metros de profundidade a temperatura variava entre 45 – 65°C. Concluíram que as regiões de temperaturas com bactérias mesófilas encontram-se numa faixa de 1 – 5 metros de profundidade e bactérias termófilas nas camadas mais profundas (Williams, 2005).

Muitas instalações modernas de biogás operam em temperaturas termófilas, pois este processo oferece muitas vantagens, em comparação com os processos de mesófilos e psicrófilo (Seadi, *et al.* 2008):

- ✓ Destruição eficaz dos agentes patogénicos;
- ✓ Máxima taxa de crescimento de bactérias metanogénicas à temperatura mais elevada;
- ✓ Redução do tempo de retenção, tornando o processo mais rápido e mais eficiente;
- ✓ Digestibilidade aperfeiçoada e disponibilidade de substratos;
- ✓ Melhor degradação de substratos sólidos e melhor utilização do substrato;
- ✓ Melhor possibilidade para a separação das frações de sólidos e líquidos.

O processo termófilico também tem algumas desvantagens:

- ✓ Maior grau de desequilíbrio;
- ✓ Demanda de energia maior devido a altas temperaturas;
- ✓ Elevado risco de inibição de amoníaco.

Embora a fermentação de biogás pode ocorrer a numa variação de temperatura de 0 a 70°C, a produção de metano eficaz ocorre numa temperatura de 25°C a 40°C com 35°C como temperatura ótima (ver Tabela 3.7) (TaTEDO).

**Tabela 3.7 - Rendimento de biogás em função da temperatura (adaptado TaTEDO)**

Temperatura [°C]	Produção do biogás (m <sup>3</sup> / 1 tonelada de esterco / dia)
15	0.150
20	0.300
25	0.600
30	1.000
35	2.000
40	0.700
45	0.320

### 3.10.5 pH

As bactérias metanogénicas são mais ativos na gama de pH 6,8 – 8 ou seja num ambiente neutro, se o pH aumentar ou diminuir desta gama ótima a produção de metano é reduzida significativamente (Williams, 2005).

**Tabela 3.8 - Eficaz de / valor do pH na produção de metano (adaptado TaTEDO)**

Valor de pH	de	5	6	7	8	9	10
	a	6	7	7	7.5	7	7
Produção do biogás		12.7	14.8	22.5	24.6	17.8	10.2

### 3.11 Potenciais benefícios do biogás

Há varias vantagens associadas com o uso de biogás como uma fonte de energia. No aterro é considerado um combustível de baixo a alto grau, dependendo de quanto que é processado, e pode ser uma fonte benéfica na produção de energia elétrica, aquecimento e outras aplicações. As receitas geradas com a venda de energia de biogás podem reduzir os custos associados com a operação e manutenção do aterro sanitário. A energia renovável biogás, também pode gerar receita através da venda e transferência de créditos de reduções de emissões. Além disso, a recuperação de energia pode reduzir o potencial migração de biogás e odores indesejados (ISWA-WSGL, 2005).

O benefício do biogás é altamente dependente da qualidade e eficiência do sistema de recolha, num ponto de vista de económico é importante garantir que os sistemas são

corretamente concebidos e instalados para fornecer um consistente e constante fornecimento de biogás para a facilidade de utilização (CRA, 2010).

### 3.11.1 Vantagens tecnológicas da captação de biogás:

#### 3.11.1.1 *Benefício para a sociedade:*

- ✓ Fonte de energia renovável;
- ✓ Redução das emissões de gases de efeito estufa e mitigação do aquecimento global;
- ✓ Redução da dependência dos combustíveis fósseis importados;
- ✓ Contribuição de energia da UE e metas ambientais;
- ✓ A redução de resíduos;
- ✓ A criação de emprego;
- ✓ Flexível e eficiente a utilização final de biogás;
- ✓ Baixos consumos de água.

#### ***Fontes de energia renovável***

A atual oferta global de energia é altamente dependente de fontes fósseis (petróleo, lignite, carvão, gás natural). Estes combustíveis são recursos não renováveis, pois as suas reservas estão a ser consumidas muito mais rapidamente do que a formação de novos recursos.

Ao contrário dos combustíveis fósseis, o biogás a partir da digestão anaeróbia é permanentemente renovável, além disso irá dar uma contribuição importante para a preservação dos recursos naturais e à proteção ambiental, contudo poderá melhorar o balanço energético de um país (Seadi, et al. 2008).

#### ***Redução de emissões de gases de efeito estufa e mitigação do Aquecimento global***

A combustão do biogás e a utilização de combustíveis fósseis (petróleo bruto, lignite, carvão, e gás natural) armazenado por milhões de anos na crosta da Terra, libertam o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), para a atmosfera. O aumento desta concentração na atmosfera provoca o aquecimento global, pois o dióxido de carbono é um gás de efeito estufa (GEE).

- 1 Com o avanço tecnológico do tratamento e deposição do RSU em aterro sanitário e o armazenamento/utilização de esterco animal tratado como fertilizante para produção de biogás por digestão anaeróbia, vem a reduzir as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), por conseguinte sucederá um contributo para mitigar o aquecimento

global. O potencial de GEE do metano é maior do que de dióxido de carbono cerca de 23 vezes e do óxido nitroso cerca de 296 vezes (Seadi, et al. 2008).

### ***Redução da dependência de combustíveis fósseis importados***

Os combustíveis fósseis são recursos limitados, concentrados em algumas áreas geográficas de nosso planeta. A maioria dos países europeus é dependente das importações de combustíveis fósseis vindo de outras regiões, como por exemplo Rússia e Médio Oriente. O desenvolvimento e a implementação de sistemas de energias renováveis, como produção de biogás a partir da digestão anaeróbia, diminui a dependência de combustíveis importados e aumenta a segurança do abastecimento energético nacional (Seadi, et al. 2008).

### ***Contribuição para a Energia da UE e metas ambientais***

A luta contra o aquecimento global é uma das principais prioridades da UE e das políticas ambientais. As metas europeias da produção de energia renovável, redução de emissões de GEE e gestão sustentável de resíduos são baseadas no compromisso dos Estados membros da UE para implementar as medidas necessárias e alcançá-los. A produção e utilização de biogás a partir da digestão anaeróbia têm o potencial para cumprir com todos os três alvos, ao mesmo tempo (Seadi, et al. 2008).

### ***Criação de Emprego***

A produção de biogás a partir de digestão anaeróbia exige uma força de trabalho para a produção, recolha, transporte, fabricação de equipamentos técnicos, construção, operação e manutenção das instalações de biogás. Isto significa que o desenvolvimento de todo o processo contribui para a criação de novas empresas e empregos (Seadi, et al. 2008).

### ***Utilização final flexível e eficiente de biogás***

O biogás é um portador de energia flexível, adequado para muitas aplicações diferentes. Uma das aplicações mais simples do biogás é o uso direto para a cozinha e iluminação, mas em muitos países o biogás é utilizado hoje em dia para a produção combinada de calor e energia (CHP), alimentado em redes de gás natural, ou como combustível para veículos (Seadi, et al. 2008).

### 3.12 Potencial impacto na produção do biogás

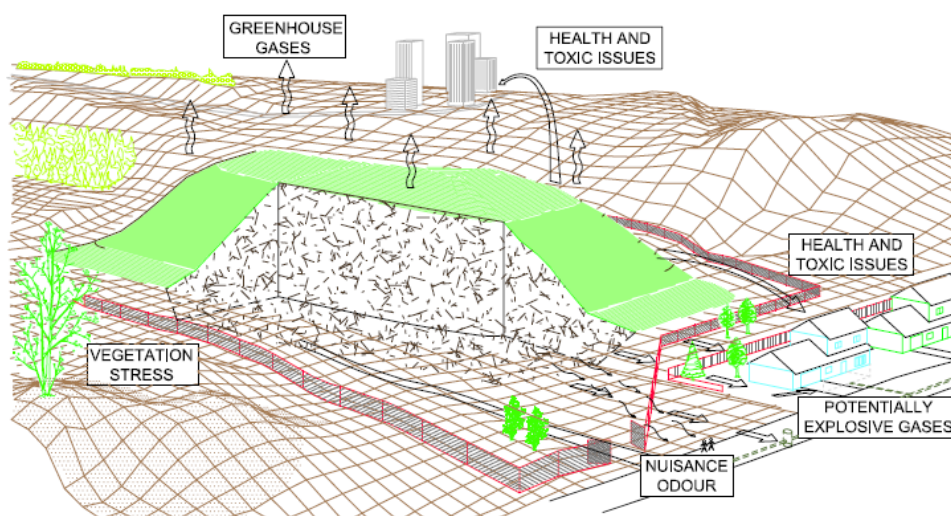
A geração do biogás no interior do aterro, origina um aumento da pressão que irá movimentar toda a massa de resíduos, e para além do movimento de gases, também há difusão através de matérias permeáveis, faz com que o biogás do aterro esteja em movimento constante, através de cobertura do aterro ou do solo, com a consequente libertação para a atmosfera (CRA, 2010).

A movimentação dos gases no interior da massa de resíduos é conduzida pela permeabilidade dos resíduos, cobertura diária ou intermitente e grau da compactação dos resíduos. O movimento lateral dos gases é causado pela sobreposição de camadas de baixa permeabilidade, como a cobertura diária e a acumulação superficial e sub-superficial da água. O movimento vertical do gás pode ocorrer através do assentamento natural dos resíduos, entre fardos de resíduos se um sistema de enfardamento for usado para compactar e enfardar os resíduos, ou através de camadas de resíduos inertes de baixa permeabilidade, como resíduos de construção. (Williams, 2005).

Dependendo do trajeto que percorre, a libertação poderá ter diversos impactos no ser humano e no ambiente (CRA, 2010):

- ✓ Odores incômodos;
- ✓ Emissão de gases com efeito de estufa;
- ✓ Riscos de saúde e efeitos tóxicos;
- ✓ Explosões;
- ✓ Stress da vegetação circundante.

Na Figura 3.5 pode-se observar o impacto causado pela libertação do biogás num aterro:



**Figura 3.5- Potenciais impactos causados pelo biogás num aterro (adaptado CRA, 2010)**

### 3.12.1 Odores

A libertação do biogás pode causar odores incómodos nas proximidades do aterro. Este fenómeno deve-se à presença de alguns compostos no biogás, sendo o principal o sulfureto de hidrogénio ( $H_2S$ ). Este composto pode ser detetado no olfato mesmo em quantidades muito reduzidas, como 0,005 ppm, ainda que não atinjam os limites de risco para a saúde. Porém, há outras substâncias que causam os odores, como são os compostos e derivados do enxofre como mercaptano e metil mercaptano, os sulfuretos, as aminas, os compostos azotados, ácidos orgânicos e aldeídos. Embora o odor não seja propriamente um indicador das riscos de saúde pública, este é uma das principais razões de queixa das populações próximas dos aterros, porém, a emissão de odores está associada à emissão de gases nefastos e tóxicos para as populações, em que os mais vulneráveis são os que mais são afetados, sobretudo pela inalação, pois os mercaptanos e metil mercaptanos são irritantes para os olhos e perigoso para crianças muito expostas à inalação.

### 3.12.2 Emissões de gases com efeito de estufa

No ano 2000 a percentagem de metano libertada de aterros municipais foi de cerca de 12% a nível mundial, com o crescimento previsto no número de aterros a nível mundial espera-se uma subida de 9% nas emissões globais de metano e dióxido de carbono a partir de aterros, entre 2005 a 2020. Nos países desenvolvidos, como da UE, há restrição de deposição de matéria orgânica fermentável (biodegradável) em aterros, de forma a evitar que a sua libertação aumente. O metano tem um potencial mais nocivo para o efeito de

estufa que o dióxido de carbono, e deve-se também ter em conta que o dióxido de carbono produzido no aterro é considerado de origem biogénica, ou seja teve origem em materiais degradáveis. O dióxido de carbono libertado na combustão do biogás é também ele considerado de origem biogénica, pois assume-se que faz parte do ciclo natural do carbono, não sendo assim considerado na contabilização como um gás que incrementa o efeito de estufa. Desta forma muitos aterros optam, ou são obrigados como no caso de Portugal, a incinerar o seu biogás, mesmo que não estejam a produzir eletricidade.

### 3.12.3 Risco para a saúde e efeitos tóxicos

A maior parte dos riscos de saúde e de toxicidade provenientes da libertação de gases encontram-se concentrados nas imediações do aterro sanitário, sendo os próprios funcionários do aterro sanitário, aqueles que se encontram em maior risco. No entanto, como é sabido, as emissões gasosas dos aterros têm efeito nefasto a nível global, pois contribuem para a depleção da camada de ozono da atmosfera. Alguns constituintes do biogás são tóxicos e outros componentes num longo período de exposição, podem ser considerados carcinogéneos. Contudo muitos destes efeitos quer a curto quer a longo prazo, circunscrevem-se ao aterro e são totalmente evitáveis desde que sejam cumpridos os requisitos legais e regulamentares de projeto de aterros sanitários, nomeadamente a drenagem de biogás e o seu correto tratamento, além de serem adotadas medidas operacionais que de segurança.

### 3.12.4 Explosões

O risco de explosão pode ocorrer quando a concentração de metano no ar atmosférico excede a limite inferior de explosividade (LIE). O LIE do metano é de cerca de 5% em volume de ar atmosférico, assim é necessária uma pequena quantidade de biogás, que à partida contém 50% de metano por volume, é requerida para que haja o perigo de explosão. O risco de explosão é também acrescido quando são tratados em locais confinados e pouco ventilados.

O risco de explosão em aterros deve-se à migração do biogás através do subsolo, como se pode observar na Figura 3.6 e é um dos principais riscos para a saúde pública, pelo que os responsáveis pelo aterro devem ter isso em conta e agir de modo a reduzir ao máximo este risco. Consegue-se evitar com uma boa operação do aterro, com boa compactação, evitando bolsões de ar no interior da massa de resíduos.



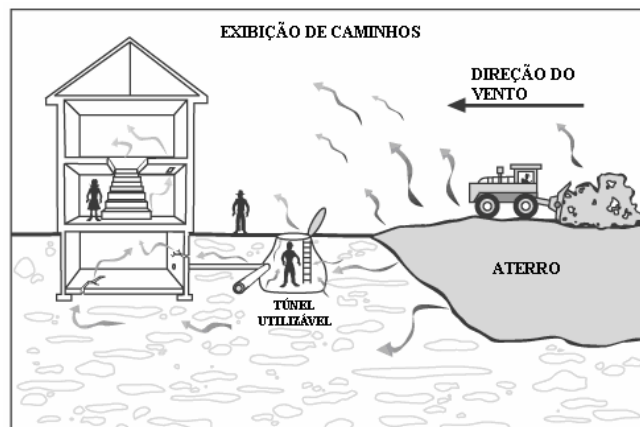


Figura 3.6 - Exibição de Caminhos Potenciais do Gás de Aterro ( adaptado CRA, 2010)

### 3.12.5 Stress da vegetação

O stress vegetal é um sinal indicativo de que o biogás do aterro migra através da superfície ou da cobertura final do aterro, podendo também se dever ao arrastamento de substâncias que são tóxicas para as plantas. Esta migração do biogás provoca uma depleção e intoxicação na vida vegetal. Isto é, poderá indicar a necessidade de medidas de controlo do aterro, como por exemplo a instalação de poços verticais de extração do biogás nas áreas afetadas.

### 3.13 Utilização do biogás

O biogás tem muitas utilizações energéticas, dependendo do tipo de fonte e da demanda local. Geralmente, o biogás pode ser utilizado para produção de calor por combustão direta, na produção de eletricidade por células de combustível ou micro-turbinas, geração CHP ou como combustível para veículos (Figura 3.7), (Hanbook Biogás).

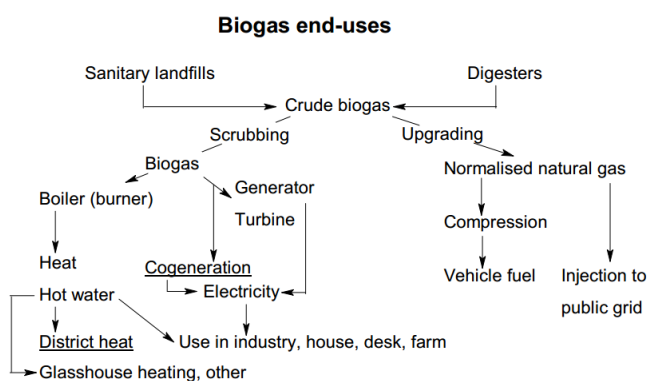


Figura 3.7 - Visão geral do uso do Biogás (adaptado Seadi, et al. 2008)

## 4 CARACTERIZAÇÃO DO ATERRO, CVEB E A REDE DE BIOGÁS DA RESULIMA

### 4.1 Localização

O Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado, abreviadamente ASVC, pois ASVC localiza-se em Viana do Castelo, na Freguesia de Vila Fria. Confronta com cinco freguesias, Vila Fria, Alvarães, Vila Nova de Anha, Chafé e Neiva (São Romão). As coordenadas geográficas do ponto médio da célula de deposição de resíduos são: 41° 38'43.74"N/ 8°45'53.58"W.

O Aterro sanitário tem acesso principal pela Estrada Nacional 13 (Figura 4.1), a partir das seguintes origens: Saída 21 da A28, N13 sentido Porto/Viana do Castelo e N103 sentido Barcelos/Viana do Castelo.



Figura 4.1- Imagem de acessibilidade ao ASVC

### 4.2 Caracterização do ASVC

O Aterro Sanitário ASVC de Viana do Castelo é constituído por 1 célula subdividida em 5 alvéolos, ocupa uma área cerca de 10 hectares e uma capacidade total de 1.650.000 m<sup>3</sup>, sendo neste permitido a deposição de resíduos urbanos (RU) designadamente "*os resíduos provenientes de habitações, bem como outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes de habitações*", entendendo-se como tal os RU e REU (resíduos equiparados a urbanos), não perigosos.

A Resulima recebe resíduos de construção e demolição (RCD), para cobertura dos resíduos depositados e consolidação de caminhos dentro da célula, desde que classificados como inertes, devendo para tal ser efetuada uma triagem e fragmentação dos resíduos, quando necessário. Importa salientar que a Resulima possui no seu aterro sanitário um parque de terras, com cerca de 8.800m<sup>2</sup> que lhe permite armazenar inertes e depositar vários tipos de terras limpas em grande quantidade sempre que aparece uma boa oportunidade para tal (*entenda-se, oferta de terras limpas e apropriadas à sua atividade provenientes de escavações, sempre a título gracioso*). Estes servem para diversos tipos de trabalhos como referido cobertura diária dos resíduos, proteção da geomembrana do talude de bordadura, construção de rampas e caminhos de circulação sobre os resíduos, combate a incêndios, constituição de stock para cobertura final.

Normalmente a terra utilizada nas operações de cobertura (parcial ou final) em aterros sanitários é proveniente da escavação da própria célula de deposição do aterro, calculada na fase de projeto para haver equilíbrio de escavações com as necessidades de terras para operação do aterro. No vertente caso de Viana do Castelo, tratando-se de uma área que era uma lixeira municipal e a necessidade de se proceder à sua recuperação e encerramento, as terras provenientes da escavação da nova célula (de características argilosas) ASVC foram utilizadas na cobertura da antiga lixeira. Por esse motivo a empresa necessita de recorrer à aceitação graciosa ou compra de terras adequadas para complementar as coberturas diárias.

O aterro possui os sistemas de proteção ambiental adequados, estes estão apresentados detalhadamente num corte esquemática (Figura 4.2):

- Sistemas de impermeabilização de fundo e taludes da célula;
  - Impermeabilização de fundo:
    - ✓ Brita 25/40 com 0.30 m de espessura
    - ✓ Solos locais arenosos - 0.20 m
    - ✓ Geotêxtil 300 g/m<sup>2</sup>
    - ✓ Tela PEAD 2 mm
    - ✓ Geocompósito bentonítico 4kg/m<sup>2</sup>..
- Sistema de drenagem, captação e tratamento de lixiviados;
- Sistema de drenagem, captação e valorização energética/queima de biogás.



Figura 4.2-Corte esquemático do aterro sanitário

O ASVC encontra-se em exploração desde de 1998 e em 2012 foi depositado uma quantidade de 116 444 toneladas de RSU's. No fim do 2013 foi aferido um volume total de 1.404.996 m<sup>3</sup> de RSU's depositado no aterro ASVC, prevendo-se o seu encerramento no 1º semestre 2015.

### 4.3 Caracterização do Centro Eletroprodutor

O Centro Eletroprodutor (CEP) de Viana do Castelo tem por finalidade a produção de energia elétrica utilizando como combustível o biogás produzido pelo aterro. O CEP está apenas em atividade desde Agosto 2010 devido à não concretização de um investimento estrangeiro da Malásia, numa Parceria Público Privado, cujo objetivo era o aproveitamento deste biogás. Nessa altura a empresa sendo obrigada pela legislação a mitigar os efeitos poluentes do biogás do aterro na atmosfera para evitar o impacto no aquecimento global , diminuir os maus odores e evitar incêndios no aterro. Para isso, foram instalados 3 queimadores do biogás dispostos perimetricamente à célula de deposição., Após o início da exploração do biogás no CEP do CEP, foram desativados os queimadores, tendo sido instalado um novo e mais moderno queimador para queima de excedente de produção de biogás que os motogeradores não podem absorver, além de servir de combustível para períodos de manutenção ou reparação dos motores por avarias ou manutenção preventiva.

O CEP é constituído por dois moto-geradores de combustão interna, instalados em contentores (Fotografia 4.1), com potências unitárias de 1.200 kW e 800 kW, totalizando 2 MW de potência elétrica gerada sob tensão de 400 V, onde 97% desta energia elétrica é

vendida e introduzida, pelo intermédio de um transformador 400 – 15000 V, na rede do Serviço Elétrico Público (SEP) sendo que os restantes 3% servem para alimentar o auto consumo dos dois grupos electroprodutores e os respetivos periféricos elétricos.



**Fotografia 4.1-Vista dos dois contentores onde são instalados os moto-geradores do CEP**

A tecnologia dos motogeradores é recente e permite obter informações sobre o seu funcionamento on line via computador, aos parâmetros de controlo do motor e de produção de eletricidade. No Anexo III e IV pode observar-se uma visão do painel de controlo dos parâmetros do moto-gerador.

Depois da desativação dos antigos 3 queimadores ineficientes sob o ponto de vista ambiental, foi instalado ao CEP um queimador de tecnologia recente, respeitando as atuais e mais exigentes normas de emissões de gases, com capacidade para queimar 1000 Nm<sup>3</sup>/h de biogás nos casos em que ocorra produção de biogás que exceda a capacidade de consumo do CEP e para assegurar o tratamento do biogás nos períodos de paragem de um ou dos dois moto-geradores por causas de manutenções ou avarias.

Adotando o princípio que é sempre melhor valorizar o biogás em vez de o queimar apenas, do CEP a Direção da RESULIMA irá avaliar se a produção de biogás do aterro é de tal monta que justifique a instalação de um um terceiro moto-gerador para se proceder a valorização energética do biogás produzido em excesso ao consumo dos atuais 2 motogeradores, em detrimento da queima.

#### **4.4 Produção de biogás no ASVC**

A produção de biogás em aterro foi estimada com auxílio da ferramenta de cálculo Landfill Gas Emissions Model (LandGEM versão 3.01 da USEPA). O LandGEM foi desenvolvido pela Agência da Protecção do Ambiente (EPA – Environmental Protection Agency) dos

Estados Unidos, segundo a definição do próprio guia, uma ferramenta de estimação automatizada com interface Microsoft Excel, que pode ser utilizada para estimar as taxas de produção dos vários gases emitidos num aterro.

O software calcula o volume de biogás produzido anualmente ( $m^3$ ), com o qual se procede à sua distribuição mensal ou diária, conforme a necessidade de monitorização.

Com os dados fornecidos estima-se uma produção horária de biogás de aproximadamente  $1100 N.m^3/hora$ . Os dois motores em funcionamento à carga máxima (100%) necessita de um caudal que varia entre  $750 - 780 m^3/hora$ , com um teor de metano da ordem dos 60 % (o caudal necessário para abastecer os motores varia com as características do biogás, designadamente o seu poder calorífico em cada instante, influenciado pela quantidade de metano, temperatura e pressão do biogás, teor de humidade, contaminantes). O diferencial de produção do biogás, aproximadamente  $320 N.m^3/hora$ , será queimado pelo queimador .

#### **4.5 Caracterização de sistema de drenagem de biogás**

O sistema de drenagem e captação de biogás do aterro está dividido em duas partes distintas – antiga lixeira e aterro sanitário.

Na antiga lixeira existe uma rede completa à superfície, executada em 1998, com 18 poços de captação. Contudo a produção de biogás nesta lixeira, em termos de qualidade e quantidade, é insignificante, talvez devido ao facto de serem resíduos muito antigos e de ter havido incêndios constantes na antiga lixeira outrora provocados pelos catadores. Quanto ao aterro, o biogás é captado através de uma rede de drenagem existente na célula, formada por drenos horizontais inseridos na massa de resíduos ligados a 30 poços verticais. Estes poços contém uma cabeça de captação de biogás (Fotografia 4.3), ligadas por sua vez à conduta secundária (Fotografia 4.7) até ao coletor perimetral e por fim à conduta de encaminhamento ao CEPao CEP. Todo a rede pode ser visualizada na Figura 4.3.

O sistema de captação de biogás do ASVC é um sistema ativo, com o principal objetivo de diminuir o potencial efeito nefasto para a atmosfera do metano ( $21$  x mais perigoso que o  $CO_2$ ) e controlo da migração do biogás.

O biogás produzido é regularmente monitorizado conforme consta da correspondente Licença Ambiental.

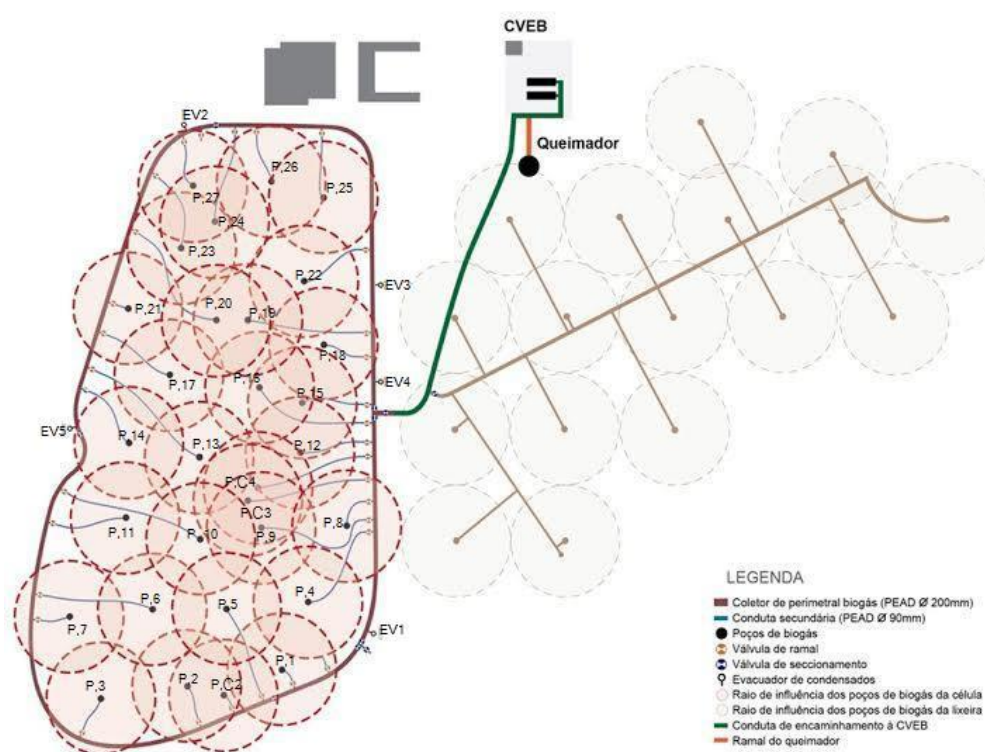


#### 4.5.1 Pormenor construtivo da rede de drenagem de biogás

##### *Rede de captação do biogás*

Uma boa conceção da rede de captação do biogás é um fator importante na contribuição para a eficiência do CEP. Deve ser bem adequadamente traçada a rede e bem executada desde o início da exploração do aterro, bem como o enchimento com resíduos deve ser executado com bom espalhamento e compactação adequada por equipamentos específicos (compactadores/espalhadores), para poder captar a máxima quantidade de biogás com boa qualidade.

Na Figura 4.3 é apresentada a rede de captação do biogás do ASVC.



**Figura 4.3 – Rede de captação do biogás do ASVC**

Esta rede apresenta grandes vantagens no que diz respeito à garantia de uma boa captação do biogás (no topo do aterro) e também uma eficácia no escoamento das águas lixiviantes (para baixo do aterro) garantido assim um menor risco de entupir as condutas de biogás com lixiviados.

### ***Poços verticais de extração do biogás***

Os poços são executados verticalmente na célula desde a sua base, cada poço abrange um raio de ação de cerca de 25 metros, estando distanciados entre si em torno de 40 metros, sendo incrementados à medida que os resíduos depositados vão evoluindo em altura. Estes, são constituídos por tubagens em PEAD de diâmetro 160 mm ranhuradas radialmente a 360 °, e à medida que o aterro vai progredindo em altura vão sendo ligadas entre tubos por “uniões de aço”, como se pode observar nas Fotografias 4.2.



**Fotografia 4.2 - Conduitas ranhuradas e união de aço utilizadas para implementar os poços verticais**

Estes poços verticais são preenchidos, numa área circular de cerca de 2 metros de diâmetro, na envolvente do tubo de biogás com brita ou outro material drenante substituto de forma a facilitar a sucção do biogás pelo sistema de captação implementado através de bombas centrífugas. Esta área circular vai cruzar as diferentes redes de drenagem que são ramificações horizontais, normalmente de 4 em 4 metros de altura do aterro, constituído por malhas em planos horizontais.

Uma vez atingida a cota parcial/final, os tubos ranhuradas verticais que constituem os poços, são rematadas por uma cabeça de captação de biogás, com regularização de caudal e ponto de medição, cabeça esta ligada a uma rede superficial que permite a condução do biogás ao CEP .

### ***Cabeças de captação do biogás***

As cabeças de poço permitem captar o gás do aterro e depois encaminhado por uma conduta secundária em PEAD , com um diâmetro de 90 mm, até ao coletor perimetral também em PEAD com um diâmetro de 200 mm, que pode ser visualizado nas Fotografia 4.3, estes devem estar bem repartidas de forma a fazer uma ótima captação do biogás. O coletor perimetral canaliza todo o biogás do aterro que depois é enviado para ao CEP para



ser utilizado como combustível nos motogeradores ou para o queimador, o que exceder a capacidade de consumo dos motogeradores, por aspiração destes e com a ajuda da sobrepressão criada com a acumulação do biogás no aterro.



**Fotografia 4.3 - Exemplos de cabeças de captação de biogás**

### ***Coletor perimetral e secundário***

O coletor perimetral do aterro possui um diâmetro uniforme de 200 mm constituindo um anel no exterior da célula de resíduos com vantagens na remoção dos condensados e na redução de problemas associados à colocação de novas tubagens. Para facilidade de manutenção este anel foi seccionado em três partes trechos para responder a necessidades de manutenção e segurança (ex: reparações, inspeções, expansão do sistema, etc.), sem a necessidade do encerramento e conseqüentemente a interrupção de todo sistema da captação do biogás. A ligação do coletor perimetral ao compressor não CEP é realizada em apenas um único ponto, sendo este o responsável pela variação da pressão ao longo do coletor.

A conduta secundária possui uma válvula de ramal junto ao coletor perimetral e dois pontos de monitorização, uma perto da cabeça do poço e outra na proximidade das válvulas de ramais. A existência da válvula de medição próximas das cabeças dos poços facilitam as operações de manutenção, caso haja identificação de um problema num poço de biogás, elas podem servir para identificar secção problemática do aterro ou mesmo um problema na conduta secundária. Contudo como as válvulas de medição próximas das cabeças de poços são bastante antigas e começam a dar problemas como de entrada de ar, estas começam a ser eliminadas porque a monitorização da qualidade do biogás faz-se quase exclusivamente nas válvulas de medição próxima das válvulas de ramais. Nas Fotografias seguintes podem ser observados os dois tipos de válvulas de medição e válvulas de ramal.



**Fotografia 4.4 - Exemplo de válvula de ramal**



**Fotografia 4.5 - Exemplo de válvula de medição próximo da válvula de ramal**



**Fotografia 4.6 - Exemplo de válvula de medição próximo da cabeça de poço**

As condutas secundárias, como se pode observar na Fotografia 4.7, devem ser posicionadas com uma ligeira inclinação regular para evitar acumulações de condensados. No entanto, em nosso entender, deveriam ser enterradas com inclinação garantida no trecho de patamares do aterro, para libertar estes patamares para circulação de equipamentos, em caso de necessidade. No interior do aterro a temperatura varia com a profundidade, sendo menor à superfície e apresentando aumento conforme a profundidade. A cerca de 20 metros de profundidade a temperatura pode chegar a mais de 60°C. . As diferenças de temperaturas podem provocar choque térmico, principalmente durante a estação de inverno, aquando da passagem do biogás do aterro para a cabeça de captação e por consequente poderiam criar um tampão hidráulico com a condensação do vapor de água do biogás que entupiria a conduta secundária e impediria a captação do biogás nesta cabeça.



**Fotografia 4.7 - Posicionamento das condutas secundárias de biogás no ASVC**

## 5 MONITORIZAÇÃO DE ALGUNS PARÂMETROS DO BIOGÁS

A monitorização da qualidade e quantidade de biogás produzido é determinante para o correto funcionamento de todo o processo de aproveitamento energético.

O objetivo da monitorização da qualidade do biogás na RESULMA, como em todos os aterros sanitários que efetuam a valorização energética do biogás, é a de atingir os requisitos impostos na Licença Ambiental e da qualidade do biogás para garantir o funcionamento a 100% do conjunto do CEP, no caso em estudo que os dois motores de combustão interna, com uma potencia total de 2 MW, funcionem na maioria do tempo à carga máxima.

A qualidade do biogás depende da sua composição, sendo o metano um dos critérios mais importante na avaliação de qualidade do biogás. Por isso, a exploração do aterro tem de garantir que a produção de biogás tenha metano superior a 54 %, sendo o ideal 56%, assim permitindo ter uma margem de segurança, estando abaixo desses valores os motores reduzem automaticamente e gradualmente a potencia máxima autorizada, ou seja, quanto menor é a fração de metano, maior é a queda de potência dos motores e por consequência menor será a produção de eletricidade no CEP.

Em relação às frações de azoto ( $N_2$ ) e oxigénio ( $O_2$ ) no biogás devem aproximar-se o máximo possível de 0%, isto é, quando temos concentrações elevadas de  $N_2$  e  $O_2$  no biogás, significa que concentrações de metano ( $CH_4$ ) serão mais baixas. Além disso, a presença desses gases, no circuito de alimentação de combustível do CEP, perturba o rácio ar/combustível dos motores e impedindo-os de funcionar nos seus pontos ótimos. Também deve-se ter em conta que a nível de motores é permitida uma concentração máxima de oxigénio de 3% na sua conduta de alimentação, sendo o  $O_2 < 1%$  o valor ótimo.

Quanto ao sulfeto de hidrogénio ou ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), a finalidade é elimina-lo completamente no CEP, pois o sulfeto de hidrogénio é ácido, portanto quanto maior a concentração de  $H_2S$  nos motores, maiores vão ser desgastes dos componentes mecânicos por corrosão.

Portanto, a quantidade de biogás fornecido pelo aterro sanitário, tem de ser suficiente para abastecer os dois grupos electroprodutores em marcha de potência máxima, o que corresponde a um caudal que varia entre 750 – 780  $Nm^3/h$ , com um teor de metano na



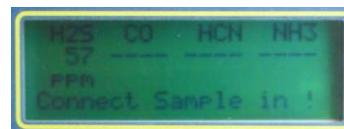




**Fotografia 5.3 - Visualização dos parâmetros CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> com bomba em funcionamento desde 18 segundos**



**Fotografia 5.4 - Visualização dos parâmetros CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> com bomba parada**



**Fotografia 5.5 - Visualização do parâmetro H<sub>2</sub>S**

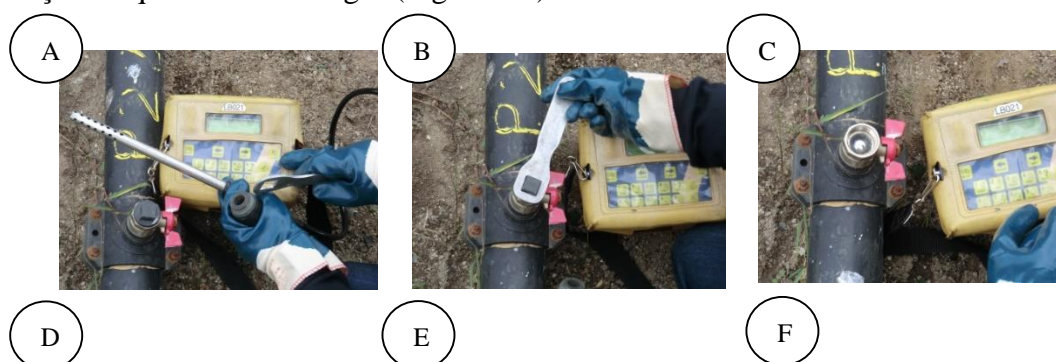
Antes da campanha de medição do biogás deve-se fazer uma verificação inicial do analisador de gás, em que permite averiguar os valores de concentrações dos diferentes gases fornecidos pelo aparelho ao fazer uma medição em branco da composição do ar do ambiente.

### 5.1.2 Metodologia:

#### ➤ *Medição da qualidade do biogás nos poços*

A medição habitual da qualidade do biogás é feita na válvula de medição, situada próximo da válvula de ramal de cada poço.

Antes de realizar a medição da qualidade do biogás dum poço do aterro, deve-se verificar que a válvula de ramal relacionada com o poço em medição está aberta pelo menos a 30 %, de forma a garantir um caudal de biogás suficiente para uma correta medição. Assim se a válvula de ramal que queremos medir estiver fechada, deve-se abrir a válvula e esperar dois minutos antes de efetuar a medição da qualidade do biogás para restabelecer o correto caudal de gás. Depois de executado esta verificação preliminar, pode-se proceder a medição da qualidade do biogás (Figura 5.1).





**Figura 5.1 - Medição da qualidade do biogás**

A medição da qualidade nos poços do biogás seguiu o seguinte procedimento:

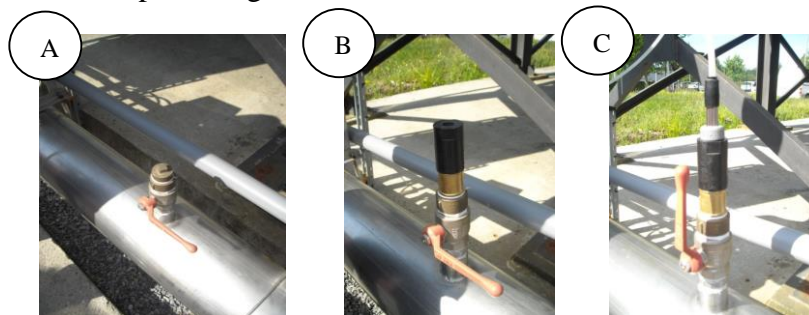
- Identificar o número do poço colocado ao lado da válvula de medição. Neste exemplo, o poço em estudo será o P.22;
- Destapar a válvula de medição com a chave indicada para o efeito;
- Colocar a peça de acoplamento estanque na válvula de medição, para permitir a adaptação da vareta do medidor de biogás na válvula de medição;
- Colocar o início da vareta do medidor de biogás no acoplamento da válvula de medição ainda fechada para evitar a introdução de ar na conduta de biogás ou a libertação de biogás na atmosfera durante a medição de biogás na conduta do poço;
- Depois de ter iniciado a colocação da vareta de medição no acoplamento, garantido assim a estanqueidade da medição, abrir a válvula de medição e empurrar a vareta de maneira a garantir uma medição de biogás no seio da conduta. A válvula de medição tem de estar totalmente aberta para possibilitar a boa introdução da vareta de medição;
- Escolher o nome do poço em medição, previamente gravado, no analisador de gás (P1, PC2, P2, PC3...) com as teclas *previous* e *next* (Fotografia 5.2) pois os resultados da medição vão ser armazenados no analisador. Depois de ter encontrado o correto número de identificação do poço no medidor de biogás, é preciso validar esta escolha ao carregar na tecla *OK*;
- Começar a medição de biogás com a tecla *pump* e esperar 60 a 100 segundos para deixar estabilizar os valores de concentrações dos gases. Carregar de novo na tecla *pump* para cessar a medição;
- Se a medição é considerada válida, carregar na tecla *store* para guardar os dados do poço considerado no analisador, senão recarregar de novo na tecla *pump* para refazer um ciclo de medição;

- Introduzir a percentagem (%) final de abertura da válvula de ramal do poço em medição (posição em que a válvula de ramal vai ficar mediante os valores dos parâmetros de qualidade do biogás). Para a inserção deste valor, carregar duas vezes no *OK* e inserir o valor de abertura da válvula de ramal em percentagem com o teclado do medidor;
- Deve-se também fazer um registo em papel dos resultados, na folha de registos da qualidade do biogás nos poços, assim é necessário carregar duas vezes na tecla *OK* para poder visualizar os resultados relativo aos gases CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> (em %) e H<sub>2</sub>S (em ppm). Por último anotar também a abertura final da válvula de ramal do poço (em %);
- Depois de registar todos os parâmetros do biogás extrair não totalmente a vareta de medição para permitir o fechamento estanque da válvula de medição;
- Recolocar a tampa da válvula de medição apertando ligeiramente com a chave específica;
- Finalizar a medição da qualidade do biogás do poço ao regular, se necessário, a nova posição da válvula de ramal mediante os valores medidos dos parâmetros de qualidade biogás.

Depois deste último passo, a medição da qualidade do biogás no poço considerado está acabada, pode-se passar medição da qualidade do biogás num outro poço.

➤ ***Medição da qualidade do biogás na conduta de encaminhamento ao CEP***

Os procedimentos de medição da qualidade do biogás na conduta de encaminhamento ao CEP (Figura 5.2), isto é na conduta conjunta das entradas dos motores e do queimador, são semelhantes aos praticados na medição da qualidade do biogás nos poços em que foram explicitados anteriormente, diferindo unicamente em dois pontos: uso dum acoplamento intermédio associado ao acoplamento especificado na medição do biogás nos poços e a não introdução do valor da percentagem de abertura da válvula de ramal.



### Figura .5.2 - Medições da qualidade do biogás na condução de encaminhamento ao CEP

Estas diferenças explicam-se pelo facto de que a válvula de medição do biogás na entrada do CEP ser de dimensões diferentes (mais comprida) que as válvulas nas cabeças dos poços e à não existência de uma válvula de regulação de caudal de biogás neste ponto, pois todo o biogás que chega a esta zona deverá ser consumido nos motogeradores e no queimador.

#### ➤ *Determinação na abertura da válvula de ramal de cada poço de biogás*

A tomada de decisão de abertura ou encerramento de uma válvula é um fator importante no que se refere à obtenção de uma boa qualidade final do biogás, cabendo ao técnico que realiza a medição do biogás mediante o teor de CH<sub>4</sub> e a quantidade de biogás dos outros poços e a sua experiência de campo proceder à regulação da válvula, fechando-a mais ou menos.

O técnico responsável pela monitorização do biogás do, usa os seguintes critérios para determinação na abertura ou fecho da válvula de ramal, que resulta da análise da combinação de vários componentes do biogás (Tabela 5.1).

**Tabela 5.1 - Critérios para determinação na abertura ou fecho da válvula ramal no ASVC**

Parâmetro avaliado num poço	Importância em relação à valorização energética	Critério de avaliação	Efeito na válvula em relação a secção de passagem do biogás
CH <sub>4</sub> (%)	MI	Inferior a 55%	Reduzir
		Entre 55 a 56%	Manter
		Superior a 56%	Aumentar
O <sub>2</sub> (%)	MI	Inferior a 0,1%	Aumentar
		Superior a 0,1%	Reduzir
N <sub>2</sub> (%)	I	Inferior a 1%	Aumentar
		Superior a 1%	Reduzir
H <sub>2</sub> S (ppm)	I	Entre 0 a 200 ppm	Aumentar
		Superior a 200 ppm	Reduzir

M.I. - Muita importância; I. - Importante

Outro parâmetro que influencia a posição da válvula de ramal é a depressão nos poços. Assim é conveniente ter uma depressão equilibrada em todos os pontos de captação do aterro sanitário, isto é, a mesma depressão em todas as válvulas de ramais. Este fator pode fazer com que, mesmo em poços muito bons no que se refere à qualidade do biogás e que



à partida estariam abertos a 100%, a abertura da válvula passa a estar situada nos 50% ou a 75%, por exemplo, de forma a garantir uma depressão equilibrada nos poços.

### 5.1.3 Resultados e análise da qualidade do biogás nos poços de captação

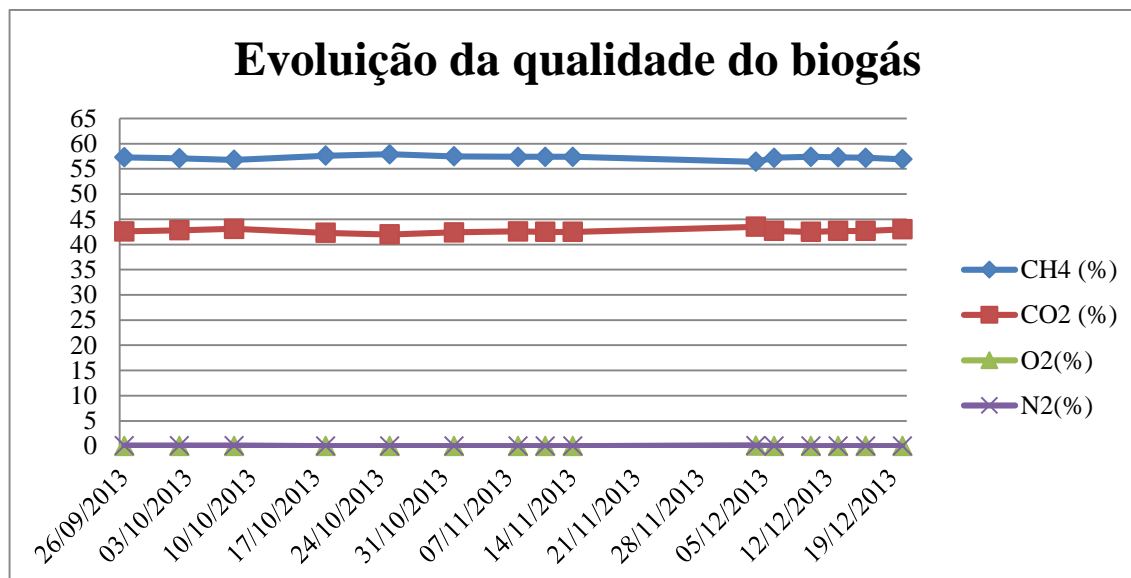
Os dados obtidos durante a campanha de medição da composição do biogás nos diferentes poços e nas diferentes medições podem ser observados no Anexo V. De uma forma geral durante a investigação foram observados poços com excelente qualidade do biogás, com um teor de metano médio acima dos 60%, designadamente P.C.2; P.2; P.3; P.7; P.8; P.9 e P.21, os restantes poços foram considerados como poços de boa qualidade, com teor de metano médio que varia 56% - 60%.

### 5.1.4 Resultados e análise da qualidade do biogás na condução de encaminhamento ao CEP

Na Tabela 5.2 e o Gráfico 5.1 podemos visualizar a evolução dos parâmetros do biogás na entrada do CEP, isto é os valores globais da qualidade do biogás medido no aterro, entre o dia 23 de Setembro e 20 de Dezembro de 2013.

**Tabela 5.2 -Campanha de qualidade final de biogás à entrada do CEP**

Datas	Componentes do biogás				
	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
26-Set-13	57,3	42,6	0	0,1	109
02-Out-13	57,1	42,8	0	0,1	202
08-Out-13	56,8	43,1	0	0,1	242
18-Out-13	57,6	42,3	0	0	237
25-Out-13	57,9	42	0	0	202
01-Nov-13	57,5	42,4	0	0	242
08-Nov-13	57,4	42,6	0	0	264
11-Nov-13	57,4	42,5	0	0	258
14-Nov-13	57,4	42,5	0	0	253
04-Dez-13	56,4	43,5	0,1	0,1	262
06-Dez-13	57,2	42,7	0	0	248
10-Dez-13	57,4	42,5	0	0	259
13-Dez-13	57,3	42,7	0	0	263
16-Dez-13	57,2	42,7	0	0	271
20-Dez-13	56,9	43	0	0	262



**Gráfico 5.1-Evolução da qualidade do biogás no período 23 de Setembro 2013 até 20 de Dezembro 2013, na entrada do CEP**

O CH<sub>4</sub> mantém-se constante e acima do 56% resultado ótimo para se obter uma produção de eletricidade constante e máxima.

Na Tabela 5.2 pode constata-se que, na sua generalidade, na entrada do CEP o biogás produzido, não possui oxigénio e azoto, pois as concentrações destes gases são quase nulas, que é considerado excelente.

A boa qualidade do biogás produzido são sinais de um aterro sanitário bem operado, com boa drenagem de gases e de lixiviados em todo o maciço e eficaz extração do biogás. Também é produto da adequada compactação de resíduos e bom equilíbrio da humidade dentro do aterro.

## 5.2 Monitorização da depressão do biogás do ASVC

A rede de biogás do ASVC sofre uma depressão, causada pela extração com bombas centrífugas e do queimador, aproximadamente de 50 mb. No entanto, os valores de depressão de biogás ao nível dos poços ou mais precisamente nas válvulas de medição da qualidade do biogás, são muitos baixos, na ordem de algumas unidades milibar. O ideal seria que as depressões, nos diferentes pontos (para os poços que não têm a válvula de ramal fechada) seja semelhante, de forma a assegurar uma aspiração equilibrada em todo o aterro e assim garantir que uma grande parte do volume aterro participe no fornecimento

do biogás. Assim, é importante controlar a depressão nos diferentes poços, embora não tão regularmente como a qualidade do biogás.

### 5.2.1 Material:

O material de medição da depressão do biogás utilizado é um manómetro analógico de precisão, com uma gama de medição de 0 até -60 mb.

### 5.2.2 Metodologia:

A metodologia para medir a depressão do biogás com o manómetro analógico seguiu o seguinte procedimento (Figura 5.3):

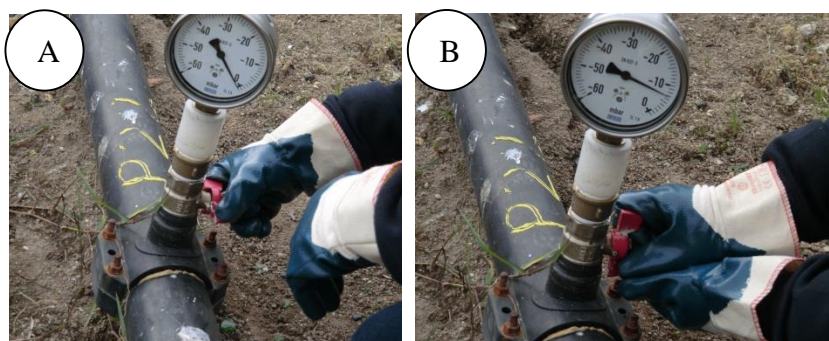


Figura .5.3 – Medição da depressão do biogás nos poços.

- Depois de ter retirado a tampa da válvula de medição, situada perto da válvula de ramal, posicionar o manómetro com o seu acoplamento específico com a válvula sempre fechada;
- Verificar o bom contacto da junta de estanqueidade do acoplamento na válvula de medição, para garantir uma boa medição de depressão do biogás;
- Depois de confirmar que o circuito de medição está bem estanque, abrir a válvula de medição e apontar o valor da depressão de biogás numa folha de registo.
- Para retirar o manómetro devemos proceder da maneira inversa e ter em atenção que devemos fechar a válvula de medição antes de remover o manómetro.

No fim das medições em todos os poços também é feita uma medição de depressão na conduta principal do CEP, usando os mesmos procedimentos.

### 5.2.3 Resultados e análise dos dados da depressão

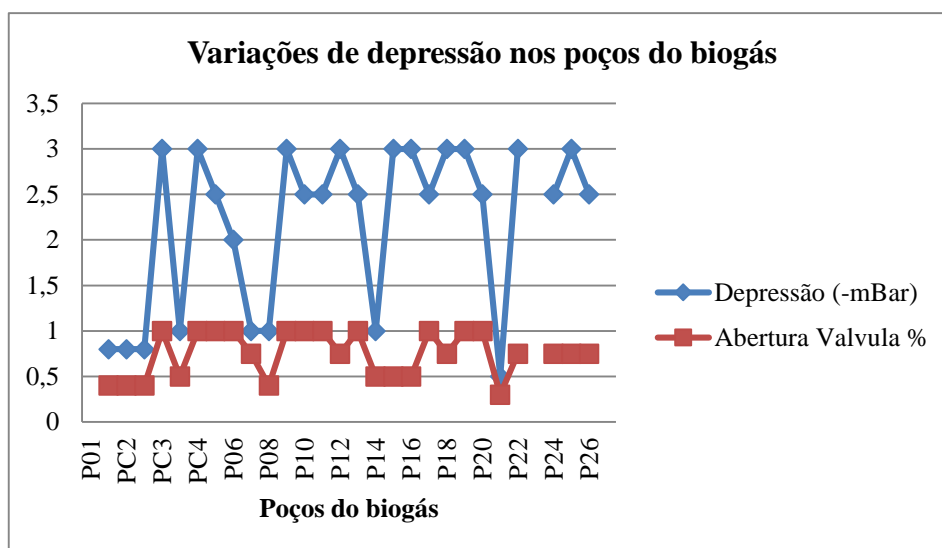
#### ➤ *Resultados da campanha de medição de depressão do biogás*

Esta campanha de medição da depressão realizou-se no dia 20 de Dezembro de 2013, simultaneamente à monitorização da qualidade do biogás.

Na Tabela 5.3 são apresentados os valores de abertura das válvulas de ramais e respetivas depressões em que ficaram todos os poços do aterro sanitário depois da campanha de medição.

**Tabela 5.3 - Recapitulativo das posições das válvulas de ramais e das respetivas depressões depois da campanha de medição do 20/12/2013**

Depressão nos poços do biogás																															
Nº Poços	P01	P02	PC2	P03	PC3	P04	PC4	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG
Depressão (-mBar)	0,8	0,8	0,8	3	1	3	2,5	2	1	1	3	2,5	2,5	3	2,5	1	3	3	2,5	3	3	2,5	0,5	3	2,5	3	2,5	3	2,5	55	
Abertura Valvula %	40%	40%	40%	100%	50%	100%	100%	100%	75%	40%	100%	100%	100%	75%	100%	50%	50%	50%	100%	75%	100%	100%	30%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	



**Gráfico 5.2 - Variações de depressão nos poços de biogás (20/12/2013)**

#### ➤ *Análise dos dados de depressão*

Apesar da depressão de biogás ser elevada na entrada dos motores, esta é muito reduzida ao nível dos poços. Isto deve-se pelo facto do aterro ser muito extenso (10 ha) e pela cobertura diária de terra (impermeabilização parcial do aterro) que influencia positivamente a pressão.

No Gráfico 5.2 podemos observar que a depressão nos poços varia com a abertura da válvula, pressão gerada no interior do aterro. Em suma para obter uma aspiração

equilibrada em todos os poços é conveniente ter uma depressão equilibrada em todos os pontos de captação do aterro sanitário.

### 5.3 Monitorização da temperatura do ASVC

No decorrer da investigação também realizou-se uma campanha de medição em alguns poços, por forma a determinar as temperaturas do biogás no interior do aterro. As medições das temperaturas foram feitas nas válvulas de medição junto a cabeça do poço, visto que são as mais indicadas para estas medições, pois ocorrem perdas térmicas na conduta secundária até a válvula de medição junto a conduta perimetral.

#### 5.3.1 Material

Usou-se o mesmo aparelho que foi usado para medições da qualidade do biogás, diferindo a vareta de medição que possui uma sonda de temperatura no seu interior.

#### 5.3.2 Metodologia

A metodologia usada para medir a temperatura do biogás nas válvulas de medição, foram as mesmas utilizadas para medir qualidade do biogás, diferindo o acoplamento (Figura 5.4):



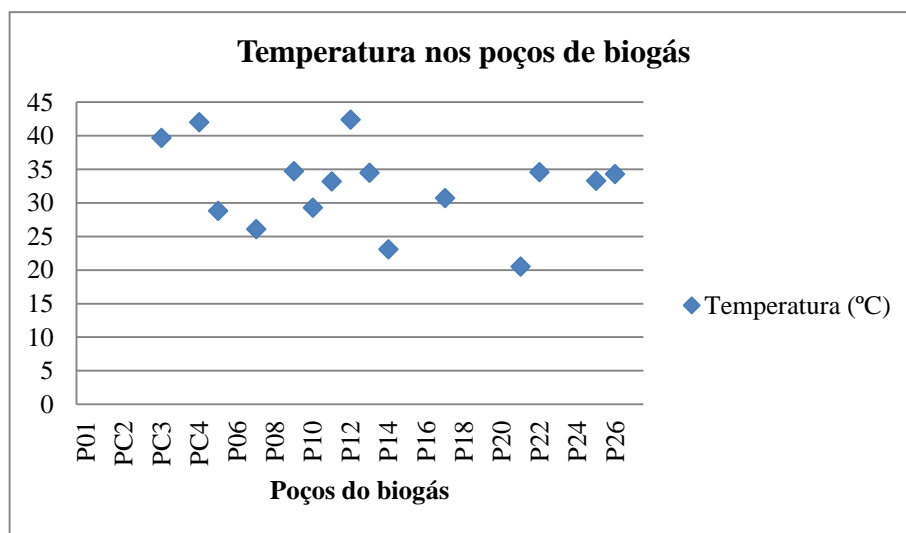
Figura .5.4-Medição de temperatura nas válvulas junto a cabeça dos poços.

#### 5.3.3 Resultados

A campanha de medição da temperatura do biogás do ASVC realizado no dia 20 de Dezembro 2013, encontram-se na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4 - Resultados da campanha de medição da temperatura do biogás no ASVC realizado no dia 20/12/2013**

		Temperatura °C																												
N° Poços	P01	P02	PC2	P03	PC3	P04	PC4	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
Temperatura (°C)	/	/	/	/	39,7	42	28,8	/	26,1	34,7	29,3	33,2	42,4	34,5	23,1	/	/	/	/	30,7	/	/	/	20,5	34,6	/	/	33,3	34,3	/
Abertura Valvula %	/	40%	40%	40%	100%	50%	100%	100%	100%	75%	40%	100%	100%	100%	75%	100%	50%	50%	50%	100%	75%	100%	100%	30%	75%	/	75%	75%	75%	/
Temperatura do Amb.	12°C																													



**Gráfico 5.3 - Temperatura nos poços do biogás**

### 5.3.3.1 Análise dos dados de temperatura

Em relação aos dados obtidos da análise da temperatura podemos afirmar que estes se enquadram dentro dos parâmetros normais e esperados, com uma variação de aproximadamente 25 a 40 graus celsius. Quanto ao P.14 e P.21 os resultados estão relativamente abaixo de 25°C, isto, deve-se à reduzida aspiração e quantidade do caudal existente nos dois poços.

## 6 ENSAIOS DE CAMPO SOBRE EMISSÕES DIFUSAS

### 6.1 Considerações iniciais

Considerou-se oportuno apresentar num capítulo isolado de materiais e métodos o que correspondeu aos ensaios de campo realizados sobre o aterro, apresentando a metodologia seguida da apresentação dos resultados e correspondente discussão, tal como se procedeu à fase de monitorização, por dar sequência ao assunto.

No presente capítulo apresenta-se uma metodologia para estudar o fluxo de gases que atravessam o solo de cobertura do aterro sanitário de Viana do Castelo, tendo como objetivo estimar o Fluxo de gases (metano, dióxido de carbono) e determinar as características do solo (nomeadamente espessura, tipo e a sua compactação), com a finalidade de mitigar os gases com efeito estufa.

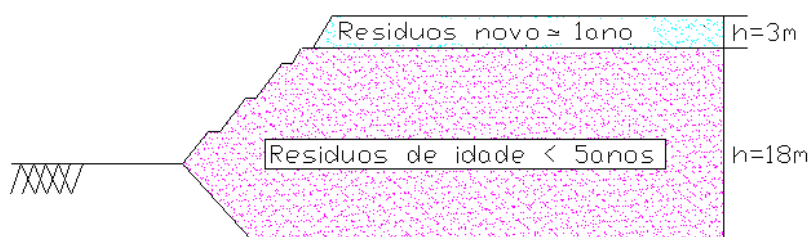
O solo utilizado na cobertura do aterro é proveniente da escavação da célula.

A camada final de cobertura é de grande importância não apenas para minimizar as emissões de gases nos aterros sanitários, mas também para prever o comportamento geotécnico e biológico da massa de lixo, determinar parâmetros de projeto e operação do aterro.

### 6.2 Local do ensaio de campo

Os ensaios de campo foram realizados sobre alvéolo nº 5 do aterro sanitário, cuja área de base é de cerca de 20.000 m<sup>2</sup> e a altura de resíduos de cerca de 21 m.

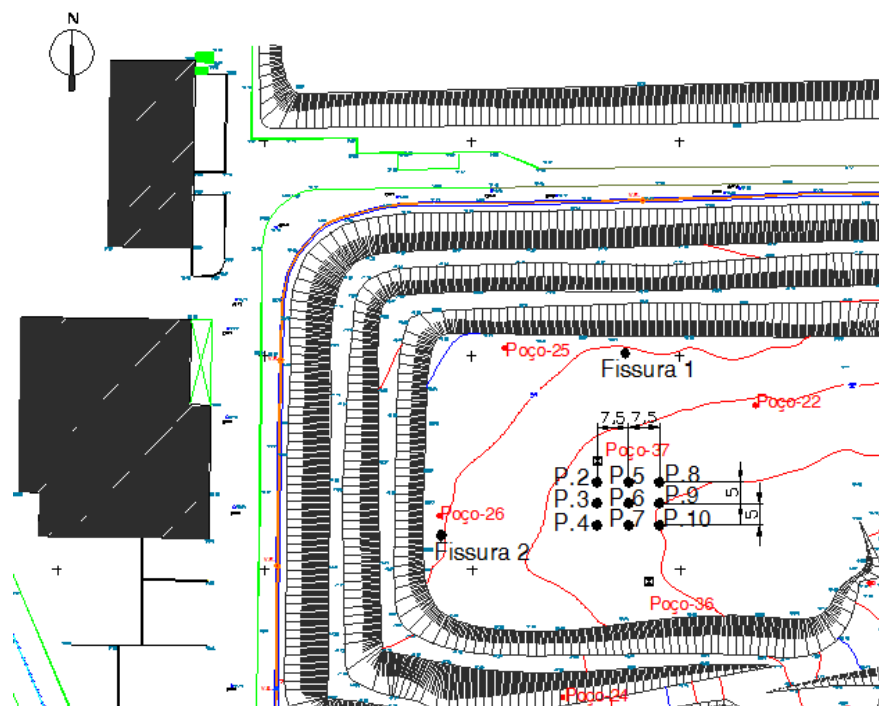
A escolha do alvéolo foi baseada no tempo de encerramento, e consequentemente a idade dos resíduos no aterro, pois a geração de biogás é significativamente reduzida após um longo período de disposição de resíduos, contudo, houve uma pré-seleção do alvéolo baseando-se na idade de RSU inferior a 5 anos. A idade dos resíduos enterrados neste local é heterogénea, conforme pode ser visto no corte ilustrativo da Figura 6.1



**Figura .6.1-Corte ilustrativo do alvéolo nº 5**

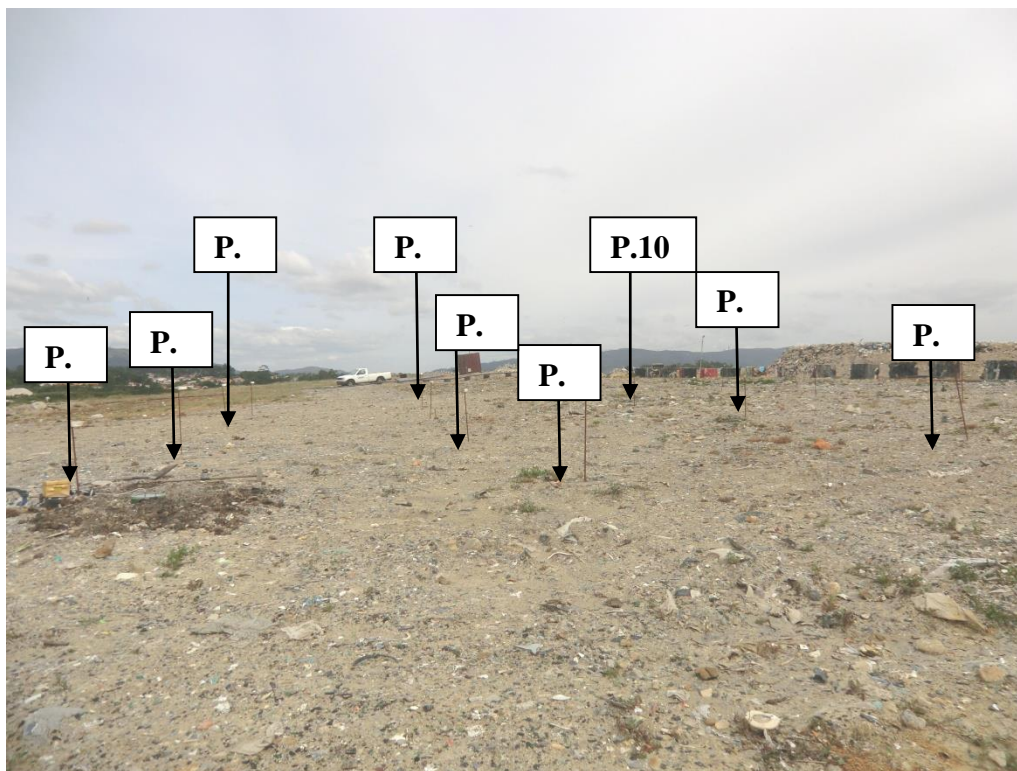
Para o ensaio, optou-se pela escolha de 9 pontos distintos numa área de 150 m<sup>2</sup> e 2 fissuras, sobre o alvéolo nº 5.

Na Figura 6.2 e Fotografia 6.1, apresenta-se a localização dos pontos:



**Figura .6.2-Localização dos pontos sobre planta topográfica do alvéolo nº5**





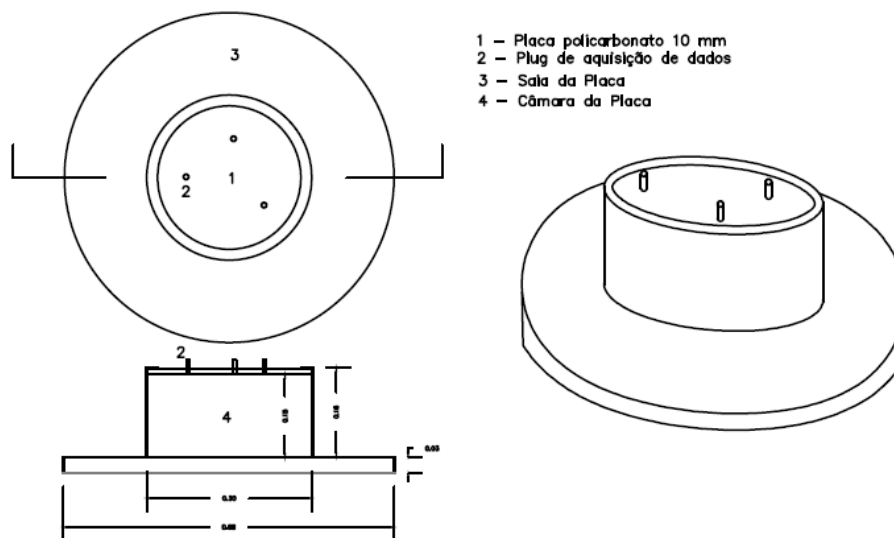
Fotografia 6.1 - Marcação dos pontos sobre o alvéolo nº 5.

### 6.3 Materiais e métodos

Os materiais utilizados durante o ensaio foram:

- GAS DATA LMSxi Multi-Function Gas Analyser para medição das concentrações dos principais gases constituintes do biogás e a temperatura;
- Placa de fluxo de biogás construída especificamente para a realização do presente trabalho (Figura .6.3).

## Placa de aquisição de biogás



**Figura .6.3- Projeto da placa de fluxo de biogás (Russo, M. 2012)**

A placa de fluxo de biogás é constituída por chapa de aço na lateral e na parte superior por uma placa de policarbonato com 10 mm de espessura.

A placa de policarbonato é fixa à chapa de aço com 4 parafusos e é vedada com silicone para evitar a perda de gases.

A placa de fluxo tem perimetralmente uma fralda para evitar a entrada de ar atmosférico para o interior da caixa induzida pela ação do vento, sendo feita a cravação da mesma no solo pressionada de encontro ao solo.

A placa de fluxo possui três conexões, posicionadas no topo da caixa, que tem como função ligar o equipamento de medição de gases (GAS DATA LMSxi), para proceder a possível leitura.

Nas seguintes fotografias são apresentas a placa de fluxo de biogás:



**Fotografia 6.2 - Vista Frontal da placa de Fluxo**



**Fotografia 6.3 - Placa de fluxo cravada no solo**

A Placa possui um a área de base igual a  $0,28 \text{ m}^2$  e  $10,6 \text{ L}$  de volume.

#### **6.4 Metodologia**

Os ensaios de campo realizados foram de placa fluxo estática.

Em cada ponto de ensaio procedeu-se a leitura sobre a camada de cobertura, e posteriormente sobre a massa de resíduos, após a retirada da camada de terras.

##### **Procedimento de ensaio – Placa de Fluxo estático:**

###### **➤ Instalação da Placa:**

- Inicialmente, foi demarcado o perímetro da placa ( $D=0.60\text{m}$ ) sobre a camada de cobertura;
- Após a marcação procedeu-se a escavação de aproximadamente  $5 \text{ cm}$  de profundidade, necessário para cravação da placa no solo;
- Em seguida crava-se a placa na vertical com o conector de saída aberto, evitando a acumulação de gases no interior da placa;
- Para finalizar “talham-se” cuidadosamente com a terra ao contorno da placa e compacta-se manualmente.

➤ **Leitura da concentração:**

O intervalo adotado para a realização das leituras do ensaio foi de 5 minutos para os primeiros 30 minutos do ensaio, posteriormente um intervalo de 10 minutos até a estabilização do ensaio com duração aproximadamente de 90 min.

A leitura da concentração dos gases na placa de fluxo estática é feita logo após a sua cravação, esse momento foi considerado o instante inicial de cada ensaio. Existe a tendência de que os valores iniciais sejam os mesmos da atmosfera (21% de oxigênio, 0% de metano, 0,1% de dióxido de carbono e 0% de ácido sulfídrico).

Procedimento de leitura da concentração do biogás consiste em:

- Acoplar o equipamento de leitura da concentração do gás;
- Encaixar a mangueira de polietileno no equipamento para início da leitura;
- Tempo de estabilização aproximadamente 2 minutos;
- Leitura das concentrações;
- Retirar a mangueira de polietileno para a finalização da leitura;
- Após o intervalo, procede-se nova leitura.

Durante a realização do ensaio, mediu-se a temperatura do biogás no interior da placa de fluxo, a temperatura do ambiente e a espessura da camada de cobertura, para posterior análise e cálculo de fluxo de gases.

Após a leitura na camada de cobertura procedeu-se a leitura sobre a massa de resíduos, recorrendo-se a uma máquina escavadora para retirar a camada de cobertura do aterro (Figura 6.5).

A instalação da placa e a leitura da concentração sobre a massa de resíduos seguiu o mesmo procedimento acima citado. Após a leitura o solo retirado é repostado e compactado.

Nas seguintes figuras são apresentados os procedimentos da instalação de a leitura da concentração de gases, sobre a camada de cobertura, massa de resíduos e fissuras.

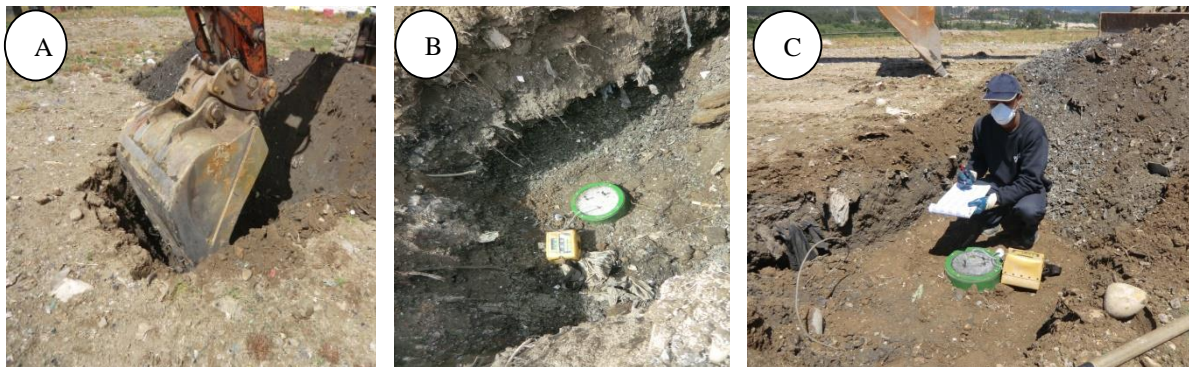


Instalação e leitura da placa sobre camada de cobertura do aterro:



**Figura .6.4-Instalação e leitura da concentração dos gases na camada de cobertura do ASVC**

Instalação e a leitura da placa sobre a massa de resíduos:



**Figura .6.5-Instalação e leitura da placa sobre a massa de resíduos.**

Instalação da placa sobre a fissura n°1 que foi submetido ao ensaio:

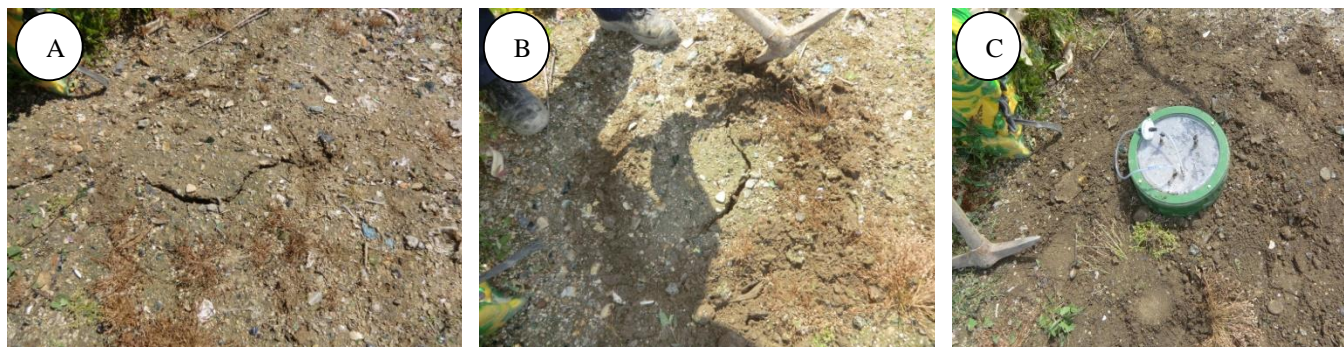


Figura .6.6-Instalação da placa de fluxo sobre a fissura.

## 6.5 Apresentação de resultados:

As tabelas abaixo mostram os resultados das medições de fluxo de biogás em diferentes pontos do ASVC.

### Ensaio no ponto 2:

#### Ensaio P.2 (Data: 27/05/2014)

Temperatura (°C)	Ambiente	19,6
	Interior Placa	22,4
	Int. Aterro	27,9

Profundidade de resíduos	0,60 m
Prof. Terra contaminada	0,25m

Ensaio no ponto P.2 (Placa cravada no solo a 0,15 m de superfície)										
	Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Concentração de biogás	CH <sub>4</sub> (%)	2,3	5,3	9,1	11,1	14,3	22,4	25,8	31	36,6
	CO <sub>2</sub> (%)	1,2	2,9	4,7	6,1	8,5	13,2	15,9	22,4	28,2
	O <sub>2</sub> (%)	19,3	18,4	17,2	16,2	15,4	12,8	11,6	9,6	7,4
	N <sub>2</sub> (%)	77,1	73,3	68,9	66,2	61,7	51,5	46,6	36,9	27,7
	H <sub>2</sub> S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.2 sobre a massa de resíduos					
	Tempo (min)	5	10	20	30
Concentração de biogás	CH <sub>4</sub> (%)	10,2	14,3	16,9	44,7
	CO <sub>2</sub> (%)	7,4	10,3	11,8	36,5
	O <sub>2</sub> (%)	16,9	15,3	14	4
	N <sub>2</sub> (%)	65,4	60	57,2	14,7
	H <sub>2</sub> S (ppm)	0	0	0	0

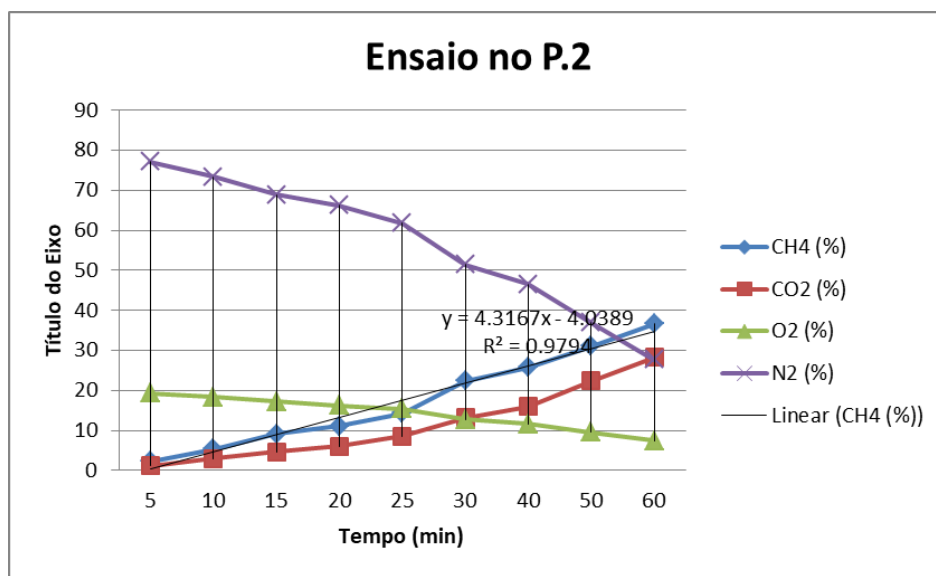


Figura 6.7 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.2

### Ensaio no Ponto 3:

**Ensaio P.3 (Data: 27/05/2014)**

Temperatura (°C)	Ambiente	16,7
	Interior Placa	22,1
	Int. Resíduos	27,4

Profundidade de resíduos	0,60 m
Prof. Terra contaminada	0,50 m

Ensaio no ponto P.3 (Placa cravado no solo a 0,10 m de superfície)									
	Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40	50
Concentração de Biogás	CH4 (%)	0	0,3	0,7	1,1	1,4	1,8	1,4	1,2
	CO2 (%)	0	3,4	6,1	7,7	7,8	7,9	7,8	7,6
	O2 (%)	20,5	19,1	18,4	17,8	16	14	14	14
	N2 (%)	79,4	77,1	74,7	73,3	74,7	76,2	76,7	77,1
	H2S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.3 sobre a massa de resíduos					
	Tempo (min)	5	10	20	30
Concentração de biogás	CH4 (%)	8,6	21,7	32,2	38,5
	CO2 (%)	4,8	12,1	21,1	26,9
	O2 (%)	17,8	13,5	9,7	7,5
	N2 (%)	68,7	52,6	36,9	27
	H2S (ppm)	0	0	0	0

**Nota:** No decorrer do ensaio no ponto nº3, sobre a camada de cobertura do aterro, houve vários fatores que influenciaram o baixo valor de CH<sub>4</sub> como por exemplo o índice da



permeabilidade do solo que era muito baixa (solo argiloso), a sua espessura e a presença de alguns resíduos impermeáveis.

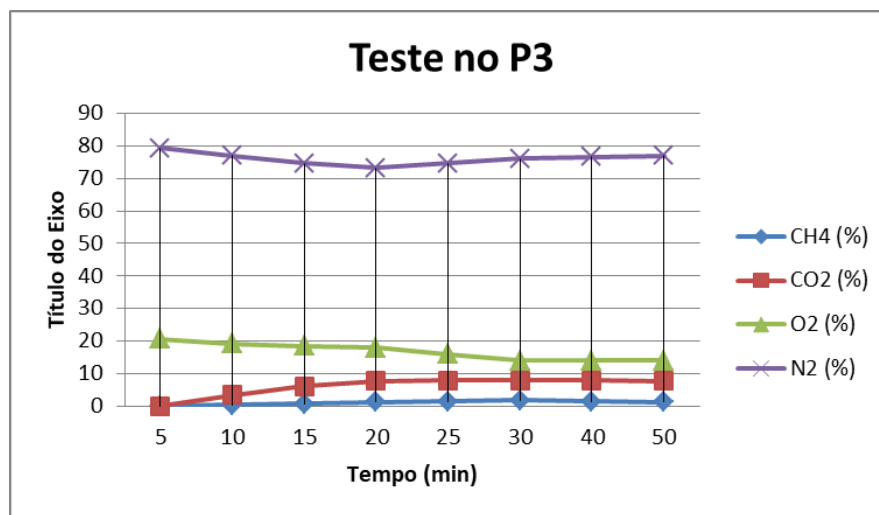


Figura 6.8 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.3

#### Ensaio no ponto 4:

##### Ensaio P.4 (Data: 28/05/2014)

Temperatura (°C)	Ambiente	19,9
	Interior Placa	23,9
	Int. Resíduos	28,7

Profundidade de resíduos	1,00 m
Prof. Terra contaminada	0,50 m

##### Ensaio no ponto P.4 (Placa cravado no solo a 0,05 m de superfície)

	Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
Concentração de biogás	CH4 (%)	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,7	0,8
	CO2 (%)	0,1	0,6	1	1,4	1,6	1,8	2,3	2,5	2,8	3,1	3,2	3,3
	O2 (%)	19,6	19,3	18,9	18,4	18,2	17,9	17,6	17,3	16,9	16,5	16,4	16,2
	N2 (%)	80,2	80	80	80	80	80,1	79,8	79,8	79,7	79,6	79,6	79,6
	H2S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

##### Ensaio no ponto P.4 sobre a massa de resíduos

	Tempo (min)	10	20
Concentração de biogás	CH4 (%)	51,5	54,2
	CO2 (%)	41,8	45
	O2 (%)	3,2	0,7
	N2 (%)	3,4	0
	H2S (ppm)	0	0



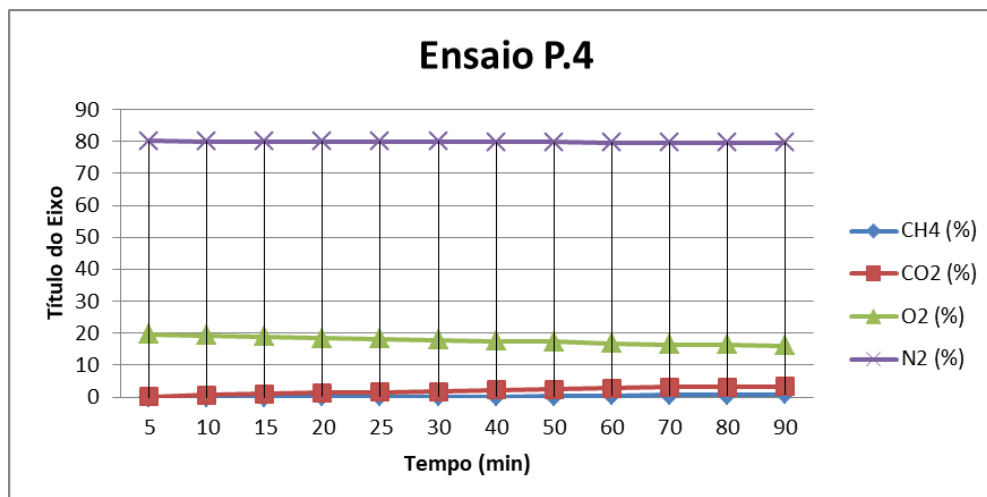


Figura 6.9 - Evolução do fluxo de gases no ensaio P.4

### Ensaio no ponto 5:

Ensaio P.5 (Data: 30/05/2014)				
Temperatura (°C)	Ambiente	21,9	Profundidade de resíduos	0,80 m
	Interior Placa	24,8		
	Int. Resíduos	28	Prof. Terra contaminada	0,60m

Ensaio no ponto P.5 (Placa cravado no solo a 0,05 m de superfície)									
		Tempo (min)	5	10	15	30	40	50	60
Concentração de biogás	CH4 (%)		0	0	0	0	0	0	0
	CO2 (%)		0	0	0	0,9	1,3	1,5	1,9
	O2 (%)		19,2	19	18,8	18,1	17,6	17,4	17
	N2 (%)		80,7	80,9	81,1	80,9	81	81	81
	H2S (ppm)		0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.5 sobre a massa de resíduos							
		Tempo (min)	5	10	15	20	25
Concentração de biogás	CH4 (%)		32	47	48,2	53	54,7
	CO2 (%)		20,2	35,5	37,2	41,4	43,5
	O2 (%)		9,7	4,2	3,8	2,7	1,6
	N2 (%)		38	13,2	10,7	2,8	0,1
	H2S (ppm)		0	0	0	0	0

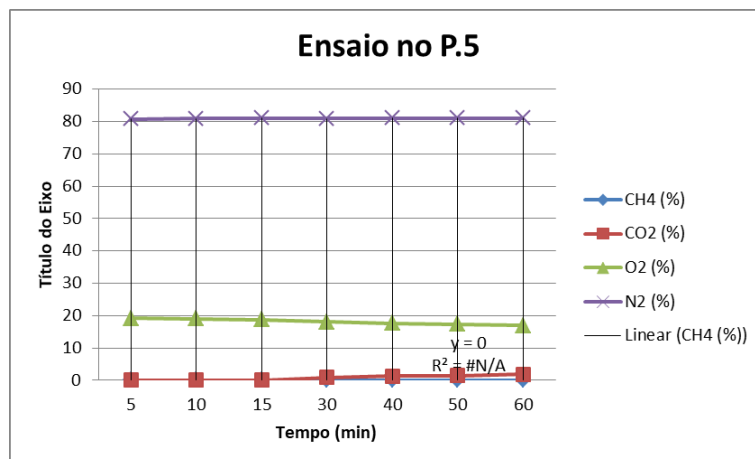


Figura 6.10 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.5

### Ensaio no ponto 6:

#### Ensaio P.6 (Data: 02/06/2014)

Temperatura (°C)	Ambiente	20,4
	Interior Placa	28,8
	Int. Resíduos	29,8

Profundidade de resíduos	0,65 m
Prof. Terra contaminada	0,40m

Ensaio no ponto P.6 (Placa cravado no solo a 0,05 m de superfície)									
		Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40
Concentração de biogás	CH4 (%)		27,7	35,2	43,1	49,5	52,7	54,6	53,1
	CO2 (%)		16,3	23,6	29,3	35,5	38,1	38,9	38,4
	O2 (%)		12,1	8,8	6,3	4	2,5	1,9	1,9
	N2 (%)		43,8	32,3	21,2	10,9	6,6	4,5	6,5
	H2S (ppm)		0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.6 sobre a massa resíduos.							
		Tempo (min)	5	10	20	30	40
Concentração de biogás	CH4 (%)		29,2	41,5	52,8	55,6	55,6
	CO2 (%)		17,8	29,2	39,9	44	44
	O2 (%)		10,5	6,3	2,5	0,2	0,2
	N2 (%)		42,4	22,9	4,7	0,1	0,1
	H2S (ppm)		0	0	0	0	0

**Nota:** Os resultados do ensaio no ponto nº 6, sobre a camada de cobertura e a massa de resíduos, revelaram as percentagens da concentração do CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> muito semelhante, isto justifica-se pelo facto do solo ter uma indicie de permeabilidade elevada (solo arenoso) e a presença de microfissuras.

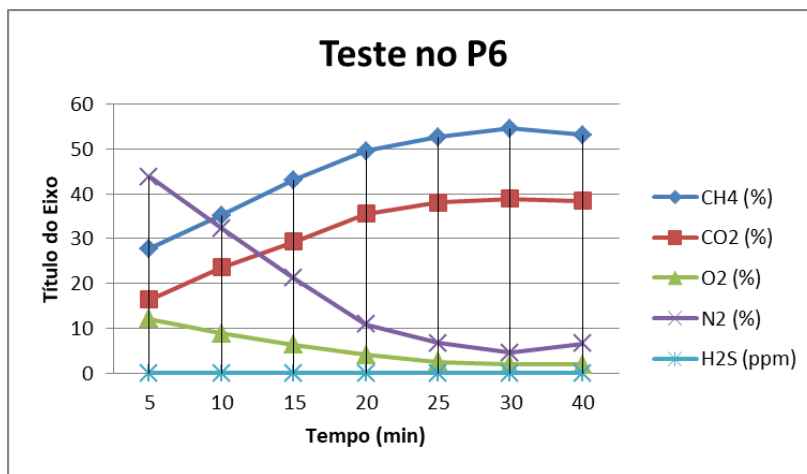


Figura 6.11 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.6

### Ensaio no ponto 7:

**Ensaio P.7 (Data: 02/06/2014)**

Temperatura	Ambiente	24,5
	Interior Placa	33,2
	Int. Resíduos	23

Profundidade de resíduos	1,05 m
Prof. Terra contaminada	0,47 m

**Ensaio no ponto P.7 (Placa cravado no solo a 0,03-0,05 m de superfície)**

	Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
Concentração de biogás	CH4 (%)	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5
	CO2 (%)	0,2	0,9	1,4	1,9	2,4	2,9	3,6	4,1	4,7	5,4	6
	O2 (%)	18,9	18,3	17,5	16,7	16,2	15,8	15	14,1	13,5	12,9	12,4
	N2 (%)	80,8	80,7	81	81,3	81,3	81,2	81,1	81,4	81,3	81,1	81
	H2S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Ensaio no ponto P.7 sobre a massa de resíduos			
		Tempo (min)	5	10	20
Concentração de biogás	CH4 (%)		52,7	54,2	53,9
	CO2 (%)		41,4	45,6	46
	O2 (%)		4	0	0
	N2 (%)		1,8	0,1	0
	H2S (ppm)		0	0	0

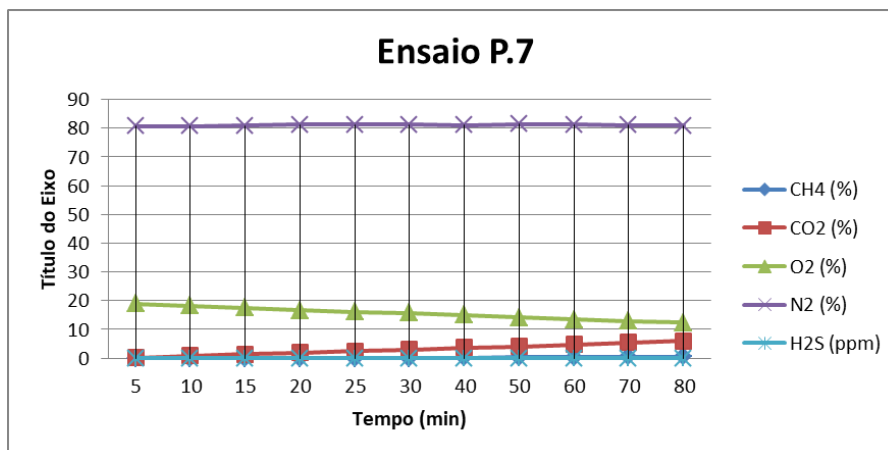


Figura 6.12 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.7

**Ensaio no ponto 8:**

**Ensaio P.8 (Data: 30/05/2014)**

Temperatura (°C)	Ambiente	18,1
	Interior Placa	18,8
	Int. Resíduos	29,7

Profundidade de resíduos	0,8 m
Prof. Terra contaminada	0,7 m

Ensaio no ponto P.8 (Placa cravada no solo a 0,05 m de superfície)										
Tempo (min)		5	10	15	20	25	30	40	50	60
Concentração de biogás	CH <sub>4</sub> (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO <sub>2</sub> (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O <sub>2</sub> (%)	19,9	19,7	19,7	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
	N <sub>2</sub> (%)	80	80,2	80,2	80,4	80,4	80,4	80,4	80,4	80,4
	H <sub>2</sub> S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.8 sobre a massa de resíduos					
Tempo (min)		5	10	20	30
Concentração de biogás	CH <sub>4</sub> (%)	44	55	55,6	55,4
	CO <sub>2</sub> (%)	31,4	43,1	44	44,5
	O <sub>2</sub> (%)	6,1	1,8	0,2	0
	N <sub>2</sub> (%)	18,4	0	0,1	0
	H <sub>2</sub> S (ppm)	0	0	0	0

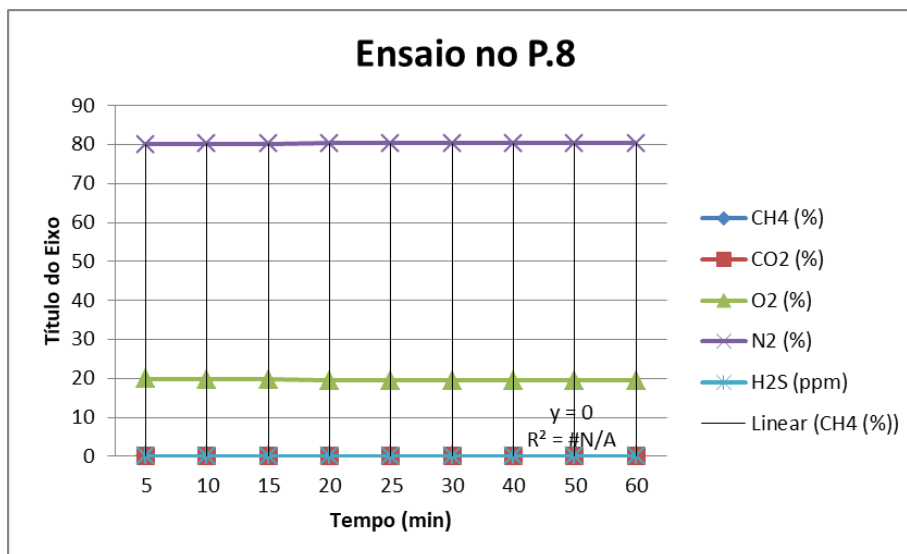


Figura 6.13 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.8

### Ensaio no ponto 9:

#### Ensaio P.9 (Data: 30/05/2014)

Temperatura (°C)	Ambiente	22,7
	Interior Placa	23,7
	Int. Resíduos	28,5

Profundidade de resíduos	0,9 m
Prof. Terra contaminada	0,75 m

Ensaio no ponto P.9 (Placa cravado no solo a 0,05 m de superfície)									
		Tempo (min)	5	10	15	20	25	50	60
Concentração de biogás	CH4 (%)		0,3	0,5	0,8	1,2	1,4	5,7	5,5
	CO2 (%)		0,2	0,9	1,3	1,8	2,7	5	4
	O2 (%)		19	18	17,6	17	16,8	16,3	16,5
	N2 (%)		80,4	80,5	80,2	79,9	79	72,9	73,9
	H2S (ppm)		0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.9 sobre a massa de resíduos						
		Tempo (min)	2	5	10	20
Concentração de biogás	CH4 (%)		16,6	54,9	55,2	55,1
	CO2 (%)		12,4	43,2	44,6	44,8
	O2 (%)		13,9	1,7	0	0
	N2 (%)		57	0,1	0,1	0
	H2S (ppm)		0	0	0	0

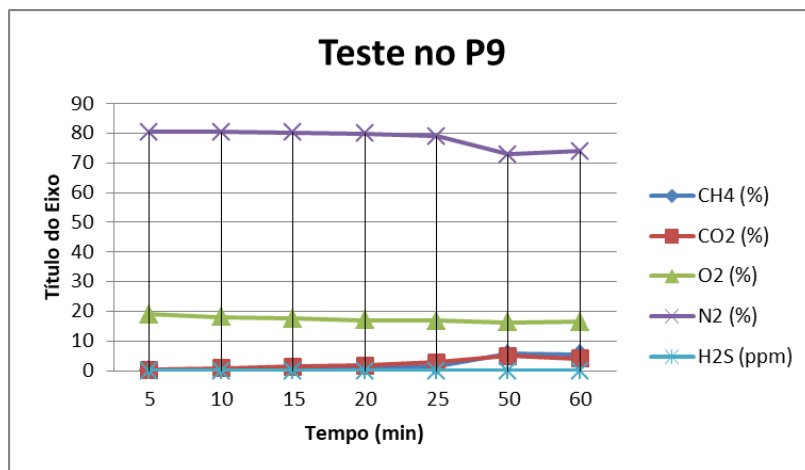


Figura 6.14 – Fluxo de gases no ensaio P.9

**Ensaio no ponto 10:**

**Ensaio P.10 (Data: 28/05/2014)**

Temperatura (°C)	Ambiente	21,2
	Interior Placa	24,9
	Int. Resíduos	28,6

Profundidade de resíduos	1,20 m
Prof. Terra contaminada	0,95 m

Ensaio no ponto P.10 (Placa cravado no solo a 0,05 m de superfície)										
	Tempo (min)	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Concentração de biogás	CH4 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CO2 (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	O2 (%)	19,9	19,7	19,5	19,5	19,3	19,2	19,3	19,2	19,2
	N2 (%)	80	80,2	80,4	80,4	80,6	80,6	80,6	80,7	80,7
	H2S (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ensaio no ponto P.10 sobre a massa de resíduos					
	Tempo (min)	5	10	20	30
Concentração de biogás	CH4 (%)	16,3	39,1	54,2	55,2
	CO2 (%)	11,1	27,8	41,4	44,1
	O2 (%)	14,7	7	2,3	0,5
	N2 (%)	57,8	26	2	0,1
	H2S (ppm)	0	0	0	0

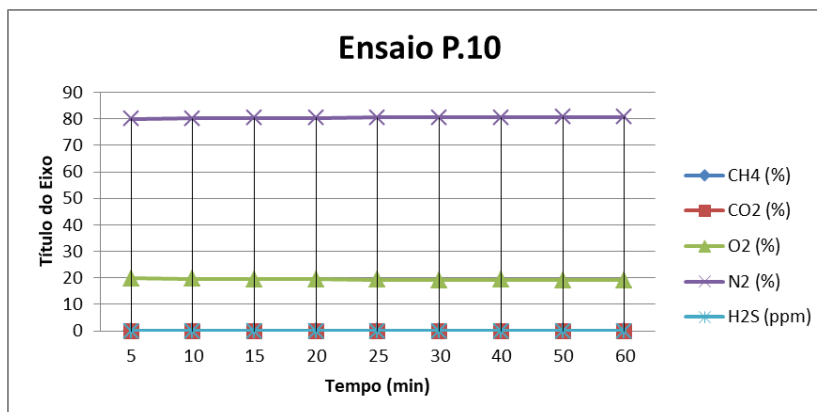


Figura 6.15 – Evolução do fluxo de gases no ensaio P.10

**Ensaio sobre a fissura nº 1 de 2 cm de largura:**

**Ensaio sobre uma fissura (Data: 30/05/2014)**

Temperatura (°C)	Ambiente	18,1
	Interior Placa	18,8

Ensaio sobre a fissura F.1			
		Tempo (min)	
		90	120
Concentração de Biogás	CH4 (%)	51	45,8
	CO2 (%)	48,7	41,9
	O2 (%)	0,2	3,4
	N2 (%)	0	8,8
	H2S (ppm)	0	0

**Ensaio sobre a fissura nº2 de 2,5 cm de largura:**

**Ensaio sobre uma fissura (Data: 02/06/2014)**

Temperatura (°C)	Ambiente	24,4
	Interior Placa	27,7

Ensaio sobre a fissura F.2 a 3 m ddo Poço 26.			
		Tempo (min)	
		5	150
Concentração de Biogás	CH4 (%)	18,5	32,4
	CO2 (%)	9,8	26,8
	O2 (%)	14,7	9
	N2 (%)	56,9	31,7
	H2S (ppm)	0	0

## 6.6 Cálculo de fluxo de gases:

Após a recolha de dados de cada ponto de ensaio procedeu-se ao cálculo para determinação de fluxo de gás sobre o solo de cobertura do aterro e a massa de resíduos, também se determinou a percentagem da retenção do fluxo.

O fluxo de gás, ou taxa de emissão superficial, determinado pelo método estático, pode ser calculada através da seguinte equação (CZEPIEL et..al., 1996):

$$J = \frac{(V_p \times \rho_{gás})}{A} \times \frac{\Delta C}{\Delta T}$$

Onde:

$J$  = Fluxo de massa ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

$\rho_{gás}$  = Densidade gás à determinada temperatura ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$V_p$  = Volume do ar no interior da placa ( $\text{m}^3$ );

$A$  = Área do solo coberta com a placa ( $\text{m}^2$ );

$\Delta C / \Delta T$  = Variação da concentração do gás (% volume) com o tempo.



## 6.7 Resumo dos Resultados dos ensaios

Tabela 6.1 - Resultados do cálculo de fluxo de gases e percentagem de retenção.

Ensaio	Data	Espessura da camada (m)	Temperatura no interior da placa no solo (°C)	Temperatura no interior da placa sobre resíduos (°C)	Duração do ensaio no solo (s)	Duração do ensaio sobre os resíduos (s)	Fluxo de gases no solo de cobertura (g.m <sup>2</sup> .s)		Fluxo de gases sobre os resíduos (g.m <sup>2</sup> .s)		% De retenção de Fluxo de gases solo- resíduos		
							CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
P.2	27-05-2014	0,45	22,4	27,9	3600	1800	0,257845076	0,558163174	0,558163174	0,558163	54%	57%	100%
P.3	27-05-2014	0,6	22,1	27,4	3000	1800	0,011036654	0,000192222	0,000192222	0,000192	98%	86%	100%
P.4	28-05-2014	0,6	23,9	28,7	5400	1200	3,87167E-06	4,25884E-05	4,25884E-05	4,26E-05	96%	88%	100%
P.5	30-05-2014	0,75	24,8	28	3600	1500	0	3,89616E-05	3,89616E-05	3,9E-05	100%	97%	100%
P.6	02-06-2014	0,6	28,8	29,8	2400	1800	0,000435443	0,001006051	0,001006051	0,001006	59%	65%	100%
P.7	02-06-2014	1	33,2	23	4800	600	2,65914E-06	8,48266E-05	8,48266E-05	8,48E-05	92%	76%	100%
P.8	30-05-2014	0,75	18,8	29,7	3600	1200	0	0	0	0	100%	100%	100%
P.9	30-05-2014	0,85	23,7	28,5	3600	600	3,89189E-05	7,82121E-05	7,82121E-05	7,82E-05	98%	98%	100%
P.10	28-05-2014	1,15	24,9	28,6	3600	1200	0	0	0	0	100%	100%	100%
F.1	02-06-2014	Fissura	18,8		5400		0,239846168	0,629831334					
F.2	30-05-2014	Fissura	27,7		9000		0,038935995	0,013095379					

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que quanto maior for a espessura de solo, maior é a retenção de gases para a atmosfera, o que demonstra que é muito importante dimensionar a espessura de cobertura do aterro, no entanto, deverá ter-se em atenção a escolha do tipo de material.

A espessura média ideal do solo para a cobertura de aterro seria 0,60 a 1,00 metros, assim evita-se as possíveis fugas de gases, a escolha do tipo do solo também é muito importante a nível de permeabilidade e compactação.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O principal objetivo desta investigação, foi a monitorização da qualidade e quantidade do biogás, a quantificação e avaliação das emissões de GEE produzidas direta e indiretamente pelas atividades da Resulima no ano de 2013.

O trabalho desenvolvido permitiu verificar que o aterro sanitário de Viana do Castelo possui uma boa produção (quantidade e qualidade) de biogás que permite a produção de eletricidade através de duas unidades de geração com potência global de 2 MWh. Esta boa produção só é possível através de um bom planeamento inicial, uma boa gestão do aterro a nível da operação. Assim sendo, pode inferir-se que a concentração de metano no biogás pode ser considerada como um bom indicador da classificação de um aterro a nível da produção do biogás.

A gestão de um aterro, em relação ao biogás, necessita de um acompanhamento permanente no terreno, pois este é um sistema complexo que se encontra em constante evolução e mudança, um poço bom hoje poderá ser um poço mau amanhã e vice-versa, como se pôde constatar da monitorização procedida durante o período de trabalhos no aterro.

Relativamente à investigação realizada sobre as emissões de gases através da camada de cobertura do aterro sanitário, pôde concluir-se que:

- O ensaio de placa de fluxo mostrou-se um procedimento útil para a determinação da eficiência da camada de cobertura no que toca à barreira da emissão dos gases, evidenciando que a espessura da camada de cobertura e a qualidade e características do material de cobertura influenciam a passagem dos gases, sendo tanto mais eficaz na retenção quanto maior for a espessura da cobertura. Espessura inferior a 45 cm revelou ser cerca de 40% permeável ao metano. Espessura de 60 cm revelou-se eficaz na retenção de cerca de 100% do metano. Já para o CO<sub>2</sub>, revelou-se que é mais difícil a retenção deste gás para as mesmas espessuras, quando comparado com a eficiência à passagem do metano.
- O dispositivo de medição de pressão e concentração de gás no contato solo-resíduo mostrou-se um procedimento de fácil utilização e útil para a monitorização do

aterro no que toca à eficiência da desgaseificação e segurança do maciço por permitir manter o equilíbrio das poro pressões no interior da massa de resíduos;

- A medição da espessura da camada indicou que não é só a espessura do solo por si só suficiente para caracterizar a eficiência da camada em barrar a passagem de gases, mas também as características do material de cobertura (permeabilidade e qualidade do material) é da maior importância, assim como a compactação dessa camada, que é influenciada pela operação de compactação dos resíduos. Quanto maior for a compactação dos resíduos, maior é a eficiência da camada de solo de cobertura porque melhor se pode proceder à sua disposição e compactação com maior uniformidade.

Recomenda-se que em trabalhos futuros se possa proceder à avaliação da eficiência da camada intermédia de cobertura dos resíduos à passagem dos gases pelo método da placa de fluxo utilizando nas coberturas solo de igual característica e teor de compactação igual, avaliada com ensaios proctor para diversas espessuras de cobertura de modo a avaliar o parâmetro espessura de material, pois é de importância relevante no custo da operação, além da componente do cumprimento da legislação ambiental.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asgari, Mohammad javad; Safavi, Kamran & Mortazaeinezhad, Forogh. (2011). *Landfill Biogas production process*. International Conference on Food Engineering and Biotechnology. IPCBEE vol.9. IACSIT . Singapoore.
2. Augenstein, D.;Pacey, J. (1991) *Modelling landfill methane generation*. Proceedings of the Third International Landfill Symposium, Sardenha, Italia.
3. “*Biomasa: Digeitores Anaerobios*”. (2007). Publicacion IDAE-Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia", Madrid.
4. Conestoga-Rovers & Associates (CRA). (2010) *Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines*. Richmond, British Columbia.
5. CZEPIEL, P.M. et al. (1996) *Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions*. Journal of Geophysical Research, v. 101, n. D11, p. 16.72116.729,.
6. Deublein, D. & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. Wiley-VCH. Weinheim, Germany.
7. [https://energypedia.info/wiki/History\\_of\\_Biogas#Europe\\_.2F\\_Ger](https://energypedia.info/wiki/History_of_Biogas#Europe_.2F_Ger) (consultado em 21 de Outubro de 2013).
8. <http://www.infoescola.com/ecologia/aterro-sanitario-e-mdl/> (consultado em 28 de Setembro de 2013).
9. International Solid Waste Association - Working Group for Sanitary Landfills (ISWA-WGSL). (2005). *Field Procedures Handbook for the Operation of Landfill Biogas System*.
10. Maciel, F. J. (2003). *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE*. Universidade Federal de Pernambuco centro de tecnologia e geociências departamento de engenharia civil mestrado em Engenharia Civil. Recife, Brasil.
11. Neves, L., M., G., F. (2009). *Anaerobic Co – Digestion of Organic Wastes*; Dissertação de Doutorado em Engenharia Química e Biológica. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
12. Pecora, V. (2006). *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.

13. Russo, M. A. T. (1996). *Recolha e tratamento de resíduos sólidos*. Curso de Mestrado/Especialização em Engenharia Municipal. Universidade do Minho, Escola de Engenharia.
14. Russo, M. A. T. (2003). *Tratamento de resíduos sólidos*. Livro de apoio aos alunos do Mestrado em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, do Programa de Pós-graduação “Água, Ambiente e Desenvolvimento” do Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Coimbra, Portugal.
15. Russo, M. A. T. (2005). *Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Braga.
16. Russo, M. A. T. Valter Monteiro (2016). *Use of top cover to reduce the emission of diffuse biogas through the surface of a landfill*. [https://www.researchgate.net/publication/274074676\\_USE\\_OF\\_TOP\\_COVER\\_TO\\_REDUCE\\_THE\\_EMISSION\\_OF\\_DIFFUSE\\_BIOGAS\\_THROUGH\\_THE\\_SURFACE\\_OF\\_A\\_LANDFILL](https://www.researchgate.net/publication/274074676_USE_OF_TOP_COVER_TO_REDUCE_THE_EMISSION_OF_DIFFUSE_BIOGAS_THROUGH_THE_SURFACE_OF_A_LANDFILL) .
17. Seadi, T.; Rutz, D.; Prassl H.; Köttner M.; Finsterwalder T.; Volk S. & Janssen R. (2008). *Biogás Handbook*. Esbjerg, Denmark.
18. (TaTEDO) Tanzânia Traditional Energy Development and Environment Organization. *Biogas Technology - Construction, Utilization and Operation Manual*. Dar Es Salaam, Tanzania.
19. Tchobanoglous, G.; Theisen, H. & Vinil, S. (1993). *Integrated solid waste management-Engineering principles and management issues*. MacGraw-Hill, Inc. New York, USA.
20. Tchobanoglous, G. & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management*. 2ª Edição. McGraw-Hill Companies, Inc. New York, USA.
21. Tchobanoglous, G. (2003). *Solid Waste Management*. pp 755-888, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
22. Williams, P. T. (2005). *Waste treatment and disposal*. 2ª edição. John Wiley & Sons Ltd. England.

**Web site:**

<https://www.academia.edu/>

<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>

[http://www.ine.pt/](http://www.ine.pt)

<http://www.resulima.pt/>

<https://www.researchgate.net/>

<http://www.sciencedirect.com/>

[www.dre.pt](http://www.dre.pt)

**GLOSSÁRIO:**

ASVC - Aterro Sanitário do Vale de Lima e Baixo Cávado;

CE – Comunidade Europeia

COP – Conferência das Partes

CVBE – Central de valorização energética de biogás

EGF – Empresa Geral de Fomento

EMA – Estação meteorológica automática

EPA – Environmental Protection Agency

ETAV – Estação de transferência dos Arcos de Valdevez

FF(1;2;3) – Queimadores de biogás em funcionamento antes da existência do CEP

FF(4;5) – Motogeradores do CEP

FF6 – Queimador de biogás de apoio ao CEP

GEE – Gás(es) com efeito de estufa

LandGEM - Landfill gas emissions model

MTG - Moto-Gerador;

OUA – Óleos alimentares usados

RCD – Resíduos de construção e demolição

REEE – Resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos

REU – Resíduos equiparados a urbanos

RS – Recolha seletiva

RSE – Responsabilidade social das empresas

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SMM – Sistema multimunicipal de triagem, RS, valorização e tratamento de RSU do Vale do Lima e Baixo Cávado

SPV – Sociedade Ponto Verde

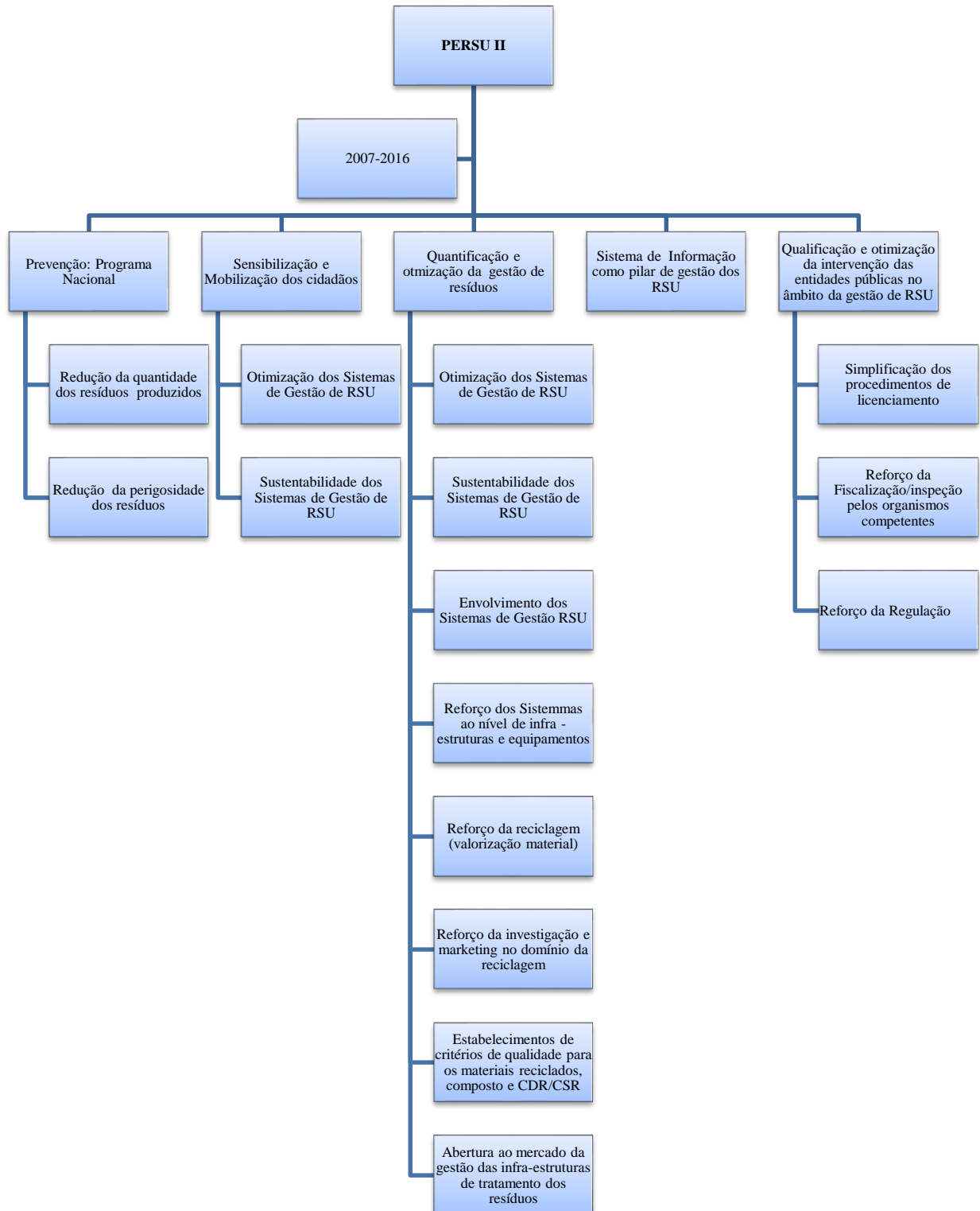
PEAD - Polietileno de Alta Densidade

pH - potencial de hidrogénio.

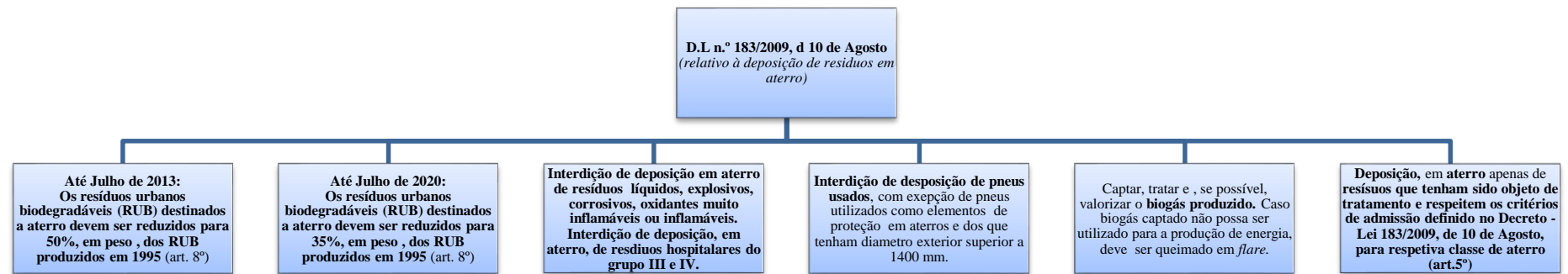


## ANEXO I - Enquadramento Legislativo da RESULIMA

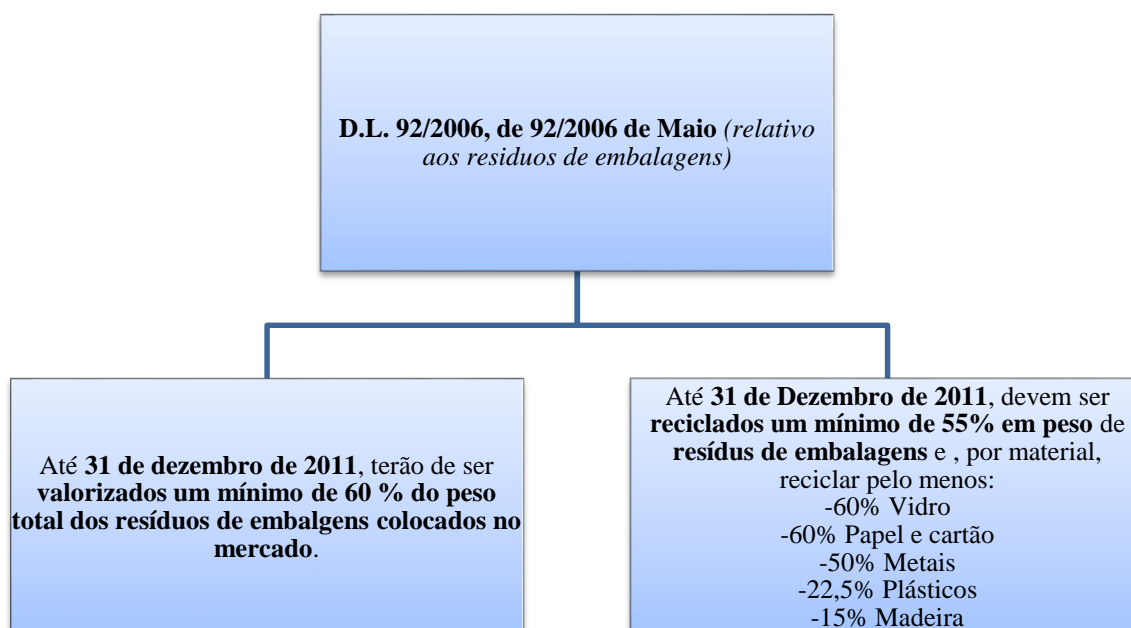
- PERSU II (Síntese de Objetivos 2007 – 2016)



- Metas do *D.L. n.º 183/2009, de 10 de Agosto*

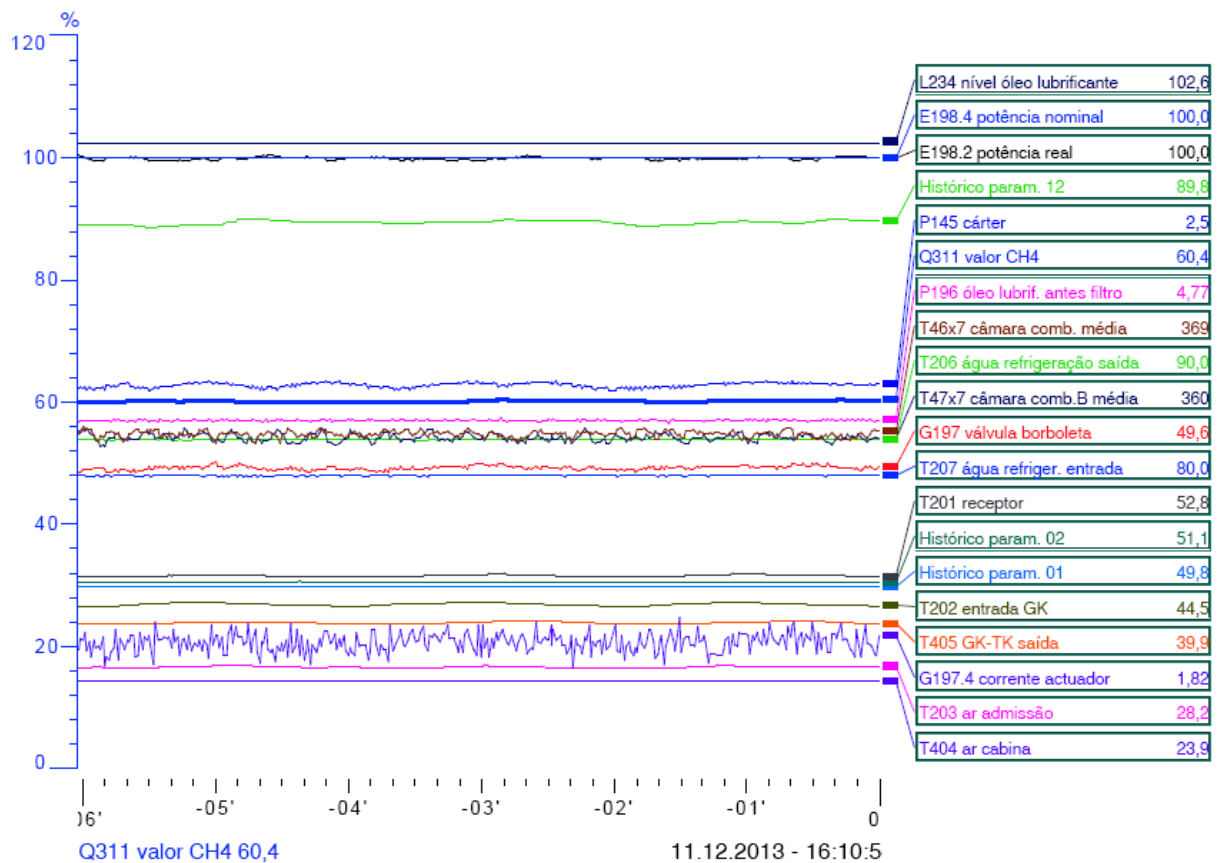


- Objetivos principais do *D.L. 92/2006, de 25 de Maio*





## ANEXO II - Visor de controlo dos parâmetros do moto-gerador 1200 MW.



**Histórico 6Min**

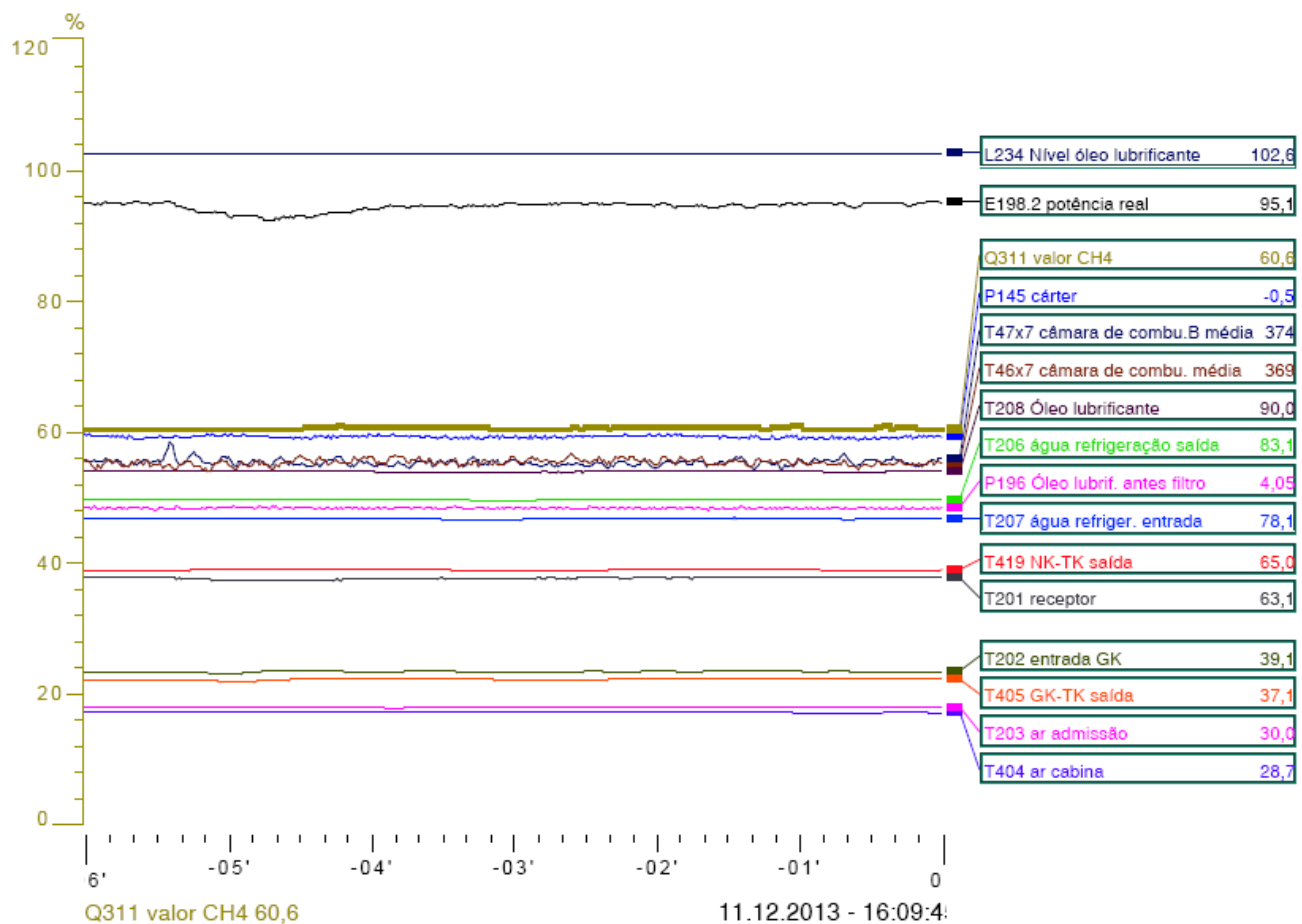
RESULMA  
 Comentário: Viana do Castelo  
 Data CLP = 11.12.2013 16:10:27

Número: 2208418 (M1)  
 Tipo de motor: TCG 2020 V12  
 Versão CLP = 2.50.08  
 Visualização = 2.4.0

Número de falhas = 0  
 Número de alarmes = 0  
 Estado = Func. com carga  
 Modo de funcionamento = Rede Arranques = 1.209

Potência real = 1197 kW  
 Velocidade real = 1500,8 1/min  
 Horas de trabalho = 28405

### ANEXO IV - Visor de controlo dos parâmetros do moto-gerador 800 MW.



**Histórico 6Min**

RESULIMA  
 Comentário: Viana do Castelo  
 Data CLP = 11.12.2013 16:08:56

Número de falhas = 0  
 Número de alarmes = 0  
 Estado = Func. com carga  
 Arranques = 1803

Número: 2208412 (M-2)  
 Tipo de motor: TCG 2016 V16  
 C

Versão CLP = 2.50.08  
 Sist. operativo CLP = 2.51.03  
 Visualização = 2.10.1

Potência real = 760 kW  
 Velocidade real = 1501,5 1/min  
 Horas de trabalho = 27798

Modo de funcionamento = Rede

## ANEXO V - Qualidade do biogás nos 31 poços entre as datas 26/09/2013 e 16/12/2013

### Variação do CH<sub>4</sub> nos poços

CH <sub>4</sub> (%)	P1	P.C. 2	P2	P.C. 3	P3	P.C. 4	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P 19	P 20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG	AnFx	
1																																	
<b>Min:</b>		67,4	54,8	57,8	55,2	55,9	41,9	57,3	57,2	59,3	59,7	58,1	55,8	58,3	55,8	55,8	42,8	55,6	56,3	56,4	56	56	56,5	48,4	56	56,8	54,9	55	55,4	56,3	56,4	59	
<b>Média:</b>		68,5	61,8	58,9	61,6	56,9	57,1	58,3	58,5	61,3	60,5	59,0	57,5	59,2	56,7	57,5	58,4	56,3	57,7	57,9	57,1	57,0	57,9	60,5	56,8	58,2	56,1	56,2	56,3	58,1	57,3	59,5	
<b>Max:</b>		70,4	64,9	60	63,6	58,3	60,6	59,9	59,9	63,3	61,4	60,7	59,3	60,9	58,5	59,2	62,1	56,9	59	59,5	59	57,7	59	62,9	57,8	59,1	56,9	57,4	57,3	59,7	57,9	59,9	
26-Set-13		68	62,9	59,1	61,8	56,2	58,9	58,1	57,2	60,5		58,3	55,8	58,9	56	57,6	61		57,6	58,1	59	57,4	56,7	62,5	56,7	58,6	55,7	56,1	56,8	58,2	57,3	59,4	
02-Out-13		67,5	61,9	59	61,4	56,5	59,6	58,5	57,4	61,7		58,5	56,6	59,1	57,3	55,8	58,6		58,2	56,8	57,1	57,3	58	62,9	57,8	56,8	55,6	56,7	55,4	56,9	57,1	59	
08-Out-13		68	63,2	58,8	63,5	57,3	58,1	58	57,2	60,5		58,7	57,3	58,3	55,8	56,4	59,7		56,3	56,4	56	56	56,5	61,9	56,5	58,3	54,9	55,2	55,6	56,3	56,8	59,5	
18-Out-13		68	63,1	59,2	62,4	56,9	59,1	57,6	57,9	59,6		59,7	57,4	58,4	56,4	56,4	59,6			57,3	57,6	56,6	57	62,1	56	57,8	55,8	55,3	55,5	57,6	57,6	59,4	
25-Out-13		67,8	63,3	59,4	62,1	57,1	59,5	57,8	58,4	60,1		59,5	57,6	58,7		56,8	60,1			57,7	57,8	56,9	57,1	62,3	56,4	58	55,5	55	55,9	57,8	57,9	59,7	
01-Nov-13		68,4	63,6	58,9	62	56,7	59,6	58,6	58,2	61,3		59,3	57,5	59,2	56,1	57,3	61,8		57,7	57,6	57,1	56,7	58,2	62,4	56,7	58,7	55,3	55,6	55,7	57,8	57,5	59,9	
08-Nov-13		69	63,2	59,4	63,6	56,8	59,1	57,3	57,9	60,9		58,4	57,7	58,8	56,1	57,1	59,4		56,9	57,5	57,4	57,3	58,1	62,3	56,3	58,3	56,1	56,6	55,9	57,8	57,4		
11-Nov-13		67,4	59	58,1	56,5	55,9	60,6	58,7	57,9	59,3		58,6	58,6	59,3	58,5	57,4	60	56,2		57,6	57,6	57,7	58,5	62,9	56,5	59,1	56,9	56,6	56,9	58,8	57,4	59,3	
14-Nov-13		67,7	64	57,8	62,8	56,9	60,4	57,5	58,6	61		59,2	57,7	59,9	57	58	59,7	56,9		58,1	57,5	56,8	57,7	62,3	56,3	58,8	55,9	56,3	56,5	58,1	57,4	59,6	
04-Dez-13		69,1	54,8	58,4	55,2	56,1	44,7	59	59,5	62,4	61,4	58,1	58,8	59,1	56,4	58,3	42,8	56,8	58	59,4	56,5	57,1	58,8	48,4	56,2	57,1	56,7	56,9	56	59,7	56,4		
06-Dez-13		68,6	55,1	60	62	58,3	41,9	59,9	59,1	63,3	60,6	60,7	59,3	60,9	56,5	59,2	60,3	55,6	59	58,2	56,3	57,3	58,9	54,7	56,9	58,8	56,7	56,6	56,4	58,9	57,2		
10-Dez-13		69,4	62,8	58,4	63,5	57,2	59	58,4	59,6	62,1	59,7	59,4	57,6	59,2	56,9	58,6	50,5	56	58,3	58,7	56,2	57,1	59	57,2	57,2		56,9	56,3	57,3	59,6	57,4		
13-Dez-13		70,4	64,9	58,5	63,6	57,5	59,3	58,1	59,9	63,2	60,7	58,6	56,9	59,7	56,4	58,5	62	56,8	57,6	59,5	56,3	57	57,9	62,2	57,5		56,6	57,4	57,1		57,3		
16-Dez-13		69,8	63,4	59,4	61,6	57,1	59	59,2	59,5	62,7	59,9	59,4	56,8	59,1	57,3	57,8	62,1	55,7	57,7	58,3	56,6	56,7	58,8	62,2	57,7		56,2	56,3	56,9		57,2		





Variação de CO<sub>2</sub> nos poços

CO <sub>2</sub> (%)	P1	P.C. 2	P2	P.C. 3	P3	P.C. 4	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P 19	P 20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG	AnFx	
2																																	
<b>Min:</b>	29,5	27,9	39,9	31,5	41,6	28	40	40	36,6	28,5	39,2	40,6	39	41,4	40,7	28,2	43	40,9	40,4	40,9	42,2	40,9	29,4	42,1	40,8	43	42,5	42,6	40,3	42	39,7		
<b>Média:</b>	31,4	35,7	41,0	36,7	42,9	38,5	41,6	41,4	38,6	37,4	40,9	42,4	40,7	43,2	42,4	37,0	43,6	42,2	42,0	42,8	42,9	42,0	36,2	43,1	41,7	43,8	43,7	43,6	41,9	42,6	40,1		
<b>Max:</b>	32,5	38	42,1	38,5	44	40,9	42,6	42,7	40,6	40,2	41,6	44,1	41,6	44,1	44,1	41,3	44,3	43,6	43,5	43,9	43,9	43,4	38	43,9	43,1	45	44,9	44,5	43,6	43,5	40,6		
26-Set-13	31,9	37	40,8	38,1	43,7	39,4	41,8	42,7	39,4		41,6	44,1	41	43,9	42,3	38,9		42,3	41,8	40,9	42,5	43,2	37,4	43,2	41,3	44,2	43,8	43,1	41,7	42,6	40,2		
02-Out-13	32,4	38	40,9	38,5	43,4	40	41,4	42,5	38,2		41,4	43,3	40,8	42,6	44,1	41,3		41,7	43,1	42,8	42,6	41,9	37	42,1	43,1	44,3	43,2	44,5	43	42,8	40,6		
08-Out-13	31,9	36,7	41,1	36,4	42,6	40,9	41,9	42,7	39,4		41,2	42,6	41,6	44,1	43,5	40,2		43,6	43,5	43,9	43,9	43,4	38	43,4	41,6	45	44,7	44,3	43,6	43,1	40		
18-Out-13	31,9	36,8	40,7	37,5	43	40	42,3	42	40,3		40,2	42,5	41,5	43,5	43,5	40,3			42,6	42,3	43,3	42,9	37,8	43,9	42,1	44,1	44,6	44,4	42,3	42,3	40,1		
25-Out-13	32,1	36,6	40,5	37,8	42,8	40,4	42,1	41,5	39,8		40,4	42,3	41,2		43,1	39,8			42,2	42,1	43	42,8	37,6	43,5	41,9	44,4	44,9	44	42,1	42	40		
01-Nov-13	31,5	36,3	41	37,9	43,2	40,3	41,3	41,7	38,6		40,6	42,4	40,7	43,8	42,6	38,1		42,2	42,3	42,8	43,2	41,7	37,5	43,2	41,2	44,6	44,3	44,2	42,1	42,4	39,7		
08-Nov-13	30,9	36,7	40,5	36,3	43,1	40,8	42,6	42	39		41,5	42,2	41,1	43,8	42,8	40,5		43	42,4	42,5	42,6	41,8	37,6	43,6	41,6	43,8	43,3	44	42,1	42,6			
11-Nov-13	32,5	37	41,8	34,3	44	39,3	41,2	41,9	40,6		41,3	41,3	40,6	41,4	42,5	39,9	43,7		42,3	42,3	42,2	41,4	37	43,4	40,8	43	43,3	43	41,1	42,5	40,2		
14-Nov-13	32,2	35,9	42,1	37,1	43	39,5	42,4	41,3	38,9		40,7	42,2	40	42,9	41,9	40,2	43		41,8	42,4	43,1	42,2	37,6	43,6	41,1	44	43,6	43,4	41,8	42,5	40,1		
04-Dez-13	30,8	33,1	41,1	31,5	42,8	30,6	40,9	40,4	37,5	28,5	41,6	41,1	40,8	43,5	41,6	28,2	43,1	41,9	40,5	43,4	42,8	41,1	29,4	43,7	42,8	43,2	43	43,9	41,2	43,5			
06-Dez-13	31,3	27,9	39,9	37,9	41,6	28	40	40,8	36,6	39,3	39,2	40,6	39	43,4	40,7	35,4	44,3	40,9	41,7	43,6	42,6	41	32,8	43	41,1	43,2	43,3	43,5	41	42,7			
10-Dez-13	30,5	36,8	41,5	36,4	42,6	40,1	41,5	40,3	37,8	40,2	40,5	42,3	40,7	43	41,3	28,6	43,9	41,6	41,2	43,7	42,8	40,9	33,4	42,7		43	43,6	42,6	40,3	42,5			
13-Dez-13	29,5	35	41,4	36,3	42,4	40	41,8	40	36,7	39,2	41,3	43	40,2	43,5	41,4	33,4	43,1	42,3	40,4	43,6	42,9	42	36,2	42,4		43,3	42,5	42,8		42,7			
16-Dez-13	30,1	36,5	40,5	38,3	42,8	40,1	40,7	40,4	37,2	40	40,5	43,1	40,8	42,6	42,1	33,3	44,2	42,2	41,6	43,3	43,2	41,1	36,8	42,2		43,7	43,6	43		42,7			



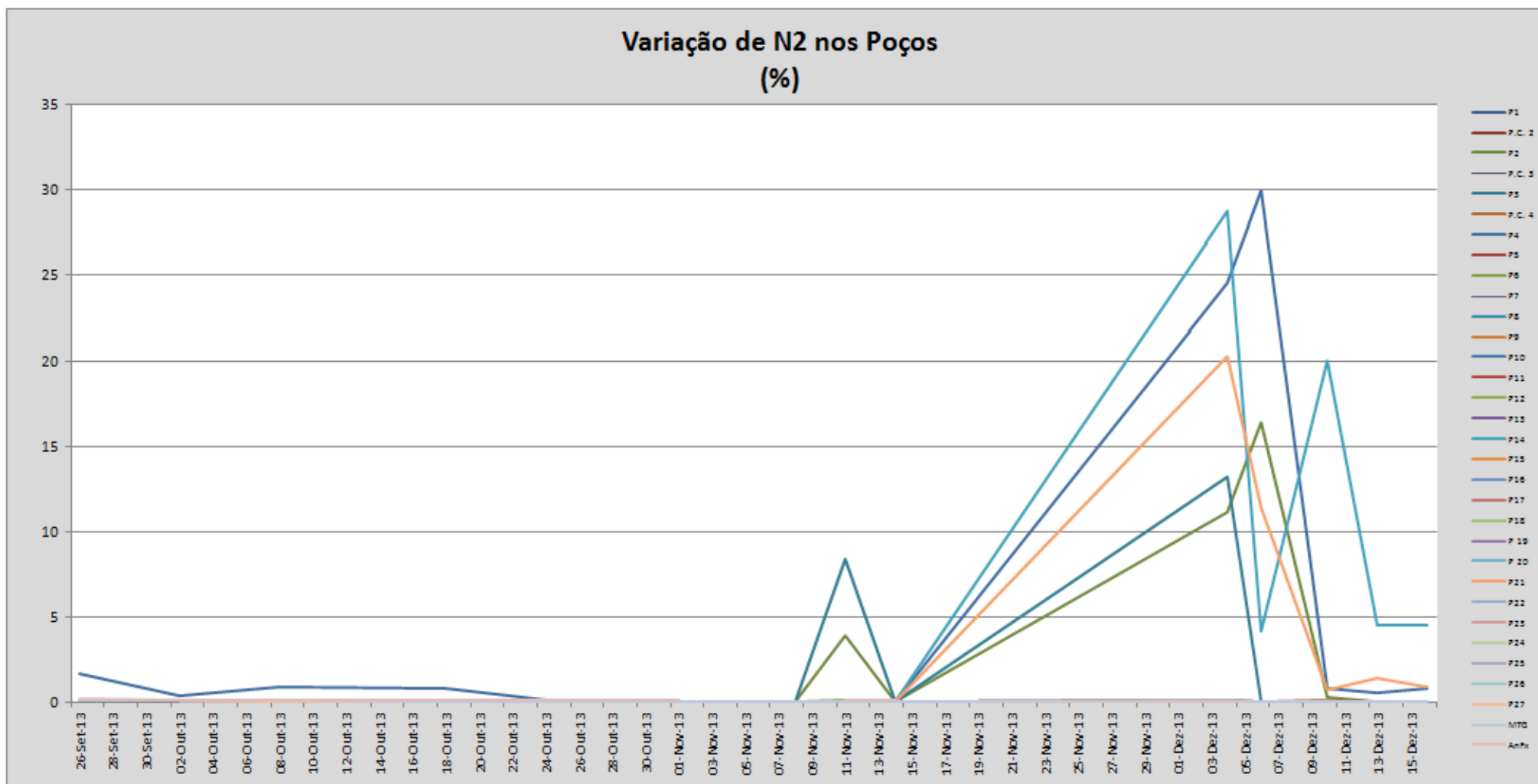
Variação de O<sub>2</sub> nos poços

O <sub>2</sub> (%)	P1	P.C. 2	P2	P.C. 3	P3	P.C. 4	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG	AnFx
3																																
<b>Min:</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
<b>Média:</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
<b>Max:</b>	0	0,9	0,3	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0,1	0,4
26-Set-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
02-Out-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
08-Out-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
18-Out-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
25-Out-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
01-Nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
08-Nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-Nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
14-Nov-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
04-Dez-13	0	0,9	0,3	0	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0,1	0
06-Dez-13	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10-Dez-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0
13-Dez-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
16-Dez-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Variação de N<sub>2</sub> nos poços

N2(%)	P1	P.C. 2	P2	P.C. 3	P3	P.C. 4	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG	AnFx			
4																																			
<b>Min:</b>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
<b>Média:</b>		0,0	2,3	0,0	1,6	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	
<b>Max:</b>		0,1	16,4	0,1	13,2	0,1	30	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	28,8	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	20,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	
26-Set-13		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,7	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	
02-Out-13		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
08-Out-13		0	0	0	0	0	0,9	0	0	0		0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
18-Out-13		0	0	0	0	0	0,8	0	0	0		0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
25-Out-13		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
01-Nov-13		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
08-Nov-13		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-Nov-13		0	3,9	0	8,4	0	0	0	0,1	0		0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
14-Nov-13		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
04-Dez-13		0	11,1	0,1	13,2	0,1	24,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,8	0	0	0	0	0	0	20,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
06-Dez-13		0	16,4	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	0	11,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-Dez-13		0	0,3	0	0	0,1	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0,7	0		0	0	0	0	0	0	0	0	
13-Dez-13		0	0	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	1,4	0		0	0	0	0	0	0	0	0	
16-Dez-13		0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0,9	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0



Variação de H<sub>2</sub>S nos poços

H <sub>2</sub> S(ppm) ▼ 5	P.C. 2	P2	P.C. 3	P3	P.C. 4	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	MTG	AnF
<b>Min:</b>	12	0	66	0	103	0	38	33	16	72	39	155	48	121	79	0	370	94	58	106	120	63	0	129	80	43	104	81	43	109	3
<b>Média:</b>	18,6	13,6	161,6	8,6	207,3	29,9	73,8	46,5	33,6	92,2	104,7	313,4	107,1	286,6	211,1	25,2	408,1	538,9	250,9	379,6	292,7	180,0	1,0	254,9	100,0	141,7	228,6	175,0	120,4	236,6	23,6
<b>Max:</b>	35	23	271	30	319	57	91	68	47	114	161	414	178	466	272	63	461	903	393	548	378	309	8	301	122	258	290	222	163	271	500
26-Set-13	16	12	66	9	103	23	67	33	20		39	187	54	121	79	18		94	58	296	120	63	6	129	86	100	104	81	43	109	3
02-Out-13	15	17	113	12	111	32	38	37	21		59	155	74	220	177	26		212	71	291	128	80	8	146	80	43	219	105	68	202	1
08-Out-13	12	19	159	0	251	21	55	36	16		115	396	66	203	225	24		388	142	548	288	168	0	260	83	136	231	175	115	242	5
18-Out-13	13	16	145	0	249	24	68	38	28		104	394	116	202	220	31			165	530	307	177	0	283	102	155	290	200	147	237	3
25-Out-13	16	19	141	12	237	28	73	34	30		96	376	106		227	30			161	539	310	170	0	288	106	141	281	188	130	202	2
01-Nov-13	18	21	228	12	253	42	77	44	43		129	318	170	302	272	26		582	273	437	344	309	0	287	104	145	280	216	150	242	1
08-Nov-13	35	23	271	30	264	46	91	61	45		102	377	178	298	250	63		412	295	370	378	287	0	256	122	192	274	198	162	264	
11-Nov-13	14	0	257	0	319	33	79	42	29		161	414	164	466	244	43	461		280	311	352	232	0	281	116	215	268	210	163	258	
14-Nov-13	12	14	232	0	274	51	75	49	31		131	290	166	437	255	48	459		331	488	342	219	0	279	113	176	255	206	148	253	1
04-Dez-13	19	0	114	0	171	0	86	39	47	106	100	313	122	398	221	0	412	824	392	106	341	187	0	301	106	258	200	201	126	262	
06-Dez-13	24	0	132	12	167	0	75	48	36	78	128	279	58	176	199	12	387	903	318	354	294	149	0	265	82	85	196	153	76	248	
10-Dez-13	26	16	151	12	200	57	88	54	38	114	96	292	89	296	181	0	370	740	316	366	282	144	0	276		80	172	134	117	259	
13-Dez-13	19	16	111	12	143	31	82	68	45	91	101	316	48	292	211	16	385	630	318	326	311	163	0	251		117	207	222		263	
16-Dez-13	21	17	142	10	160	31	79	68	42	72	105	281	88	315	194	16	383	604	393	352	301	172	0	267		141	224	161		271	

