

Contributo para a Elaboração dos Manuais de  
Construção e de Operação e Manutenção (O&M) de  
Digestores Rurais para São Tomé e Príncipe

Lígia Alexandra Cadilhe Lapa

Dissertação submetida para a obtenção do grau de  
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

Novembro 2016



Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º Ano do  
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Lígia Lapa, N° 1100524, [1100524@isep.ipp.pt](mailto:1100524@isep.ipp.pt)

Empresa: Ecovisão – Tecnologias do Meio Ambiente, Lda.



Orientação Científica: Nídia Caetano, [nsc@isep.ipp.pt](mailto:nsc@isep.ipp.pt)  
Supervisão: Débora Carneiro, [debora.carneiro@ecovisao.pt](mailto:debora.carneiro@ecovisao.pt)

Mestrado em Energias Sustentáveis  
Departamento de Engenharia Mecânica



Novembro 2016



*“A vida é uma aprendizagem diária. Afasto-me do caos e sigo um simples pensamento:  
quanto mais simples, melhor!”*

*José Saramago*



## *Agradecimentos*

Quero aqui expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a concretização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora, a Professora Doutora Nídia Caetano, por ter acarinhado o tema que decidi desenvolver, pela disponibilidade demonstrada e pela prontidão com que me ajudou a resolver os problemas que foram surgindo, bem como o incentivo e os conselhos que me foi transmitindo ao longo deste percurso.

À Ecovisão, por me terem acolhido na empresa, pelo apoio e ajuda de toda a equipa, e um agradecimento especial à Débora Carneiro pelo tempo, ajuda e atenção que me dispensou.

Aos meus colegas de mestrado e aos meus amigos, pelo apoio, amizade e companheirismo.

A todos os meus familiares, especialmente aos meus pais, pois é graças a eles que tudo isto começou. Obrigada por me terem sempre deixado tomar as minhas opções livremente. Obrigada pelo apoio incondicional, pela paciência e compreensão. Se cheguei aqui, é graças a vocês.

Muito obrigada.



## *Resumo*

Sendo uma tecnologia antiga, a digestão anaeróbia apresenta atualmente um futuro bastante promissor, uma vez que oferece resposta a dois problemas bastante comuns: 1) a necessidade de tratamento adequado para a elevada quantidade de resíduos biodegradáveis que são produzidos diariamente e 2) a disponibilização de energia. A implantação de unidades de digestão anaeróbia em pequena escala pode ser economicamente viável em países em vias de desenvolvimento, especialmente quando instalados para produzir, de forma combinada, biogás e energia elétrica, em zonas remotas sem acesso à rede elétrica pública.

É neste contexto que se insere o trabalho apresentado nesta dissertação. O objetivo proposto foi o de desenvolver conteúdos tendo em vista a realização de uma proposta para dois manuais de apoio ao projeto “Bioenergia em São Tomé e Príncipe – Aproveitamento Energético de Biogás”: o Manual de Construção e o Manual de Operação e Manutenção (O&M). Refira-se, a este propósito, que o objetivo do projeto consiste na implantação de unidades de digestão anaeróbia (biodigestores), pré-fabricadas ou construídas localmente, com vista ao aproveitamento do biogás para uso doméstico do mesmo.

Ao longo deste trabalho foi possível apurar que atualmente existem várias opções deste tipo de tecnologia, necessária para a construção de unidades de digestão anaeróbia de pequena escala, que permitem valorizar, de uma forma ambientalmente aceitável, a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.

As unidades de digestão anaeróbia desenvolvidas no projeto, apresentaram um balanço energético muito favorável à sua implementação. Relativamente à análise financeira é possível concluir que as unidades pré-fabricadas apresentam um custo superior, relativamente às unidades construídas com recursos locais. Acresce ainda, que a utilização de unidades pré-fabricadas tem um menor contributo para o aumento da empregabilidade local, o que do ponto de vista social constitui também uma menor valia relativamente às unidades construídas localmente.

### *Palavras-Chave*

Biodigestores Anaeróbios, Biogás, Digestão Anaeróbia, Resíduos Sólidos Urbanos



## *Abstract*

Although it is an old technology, anaerobic digestion currently has a very promising future as it offers answer to two very common problems: 1) the need of adequate treatment for the huge amount of biodegradable waste that is produced daily; and 2) the need for energy. The implementation of small scale anaerobic digestion units may be economically viable in developing countries, particularly when installed for the combined production of biogas and electricity in remote areas, without access to the public grid.

It is in this context that the work described in this thesis was done. The proposed objective was to develop materials aiming at producing a proposal for two manuals that support the project: "Bioenergy in Sao Tome e Principe - Energy Use of Biogas": the Construction Manual and the Operation & Maintenance (O&M) Manual. We must point out that the objective of the project is the implementation of anaerobic digestion units (biodigesters), prefabricated or built locally, aiming at the domestic use of biogas.

Through this study it was found that there are currently several options of this kind of technology, needed to build small scale anaerobic digestion units that allow the valorization of the organic fraction of municipal solid waste, in an environmentally acceptable way.

The anaerobic digestion units developed in the project, presented an energy balance very favorable to its implementation. In what concerns the financial analysis we concluded that the prefabricated units have a higher cost than that of the units built with local resources. Besides, using the prefabricated units has a lower contribution for local employability, what constitutes a drawback comparatively to the use of locally built units, from the social point of view.

### ***Keywords***

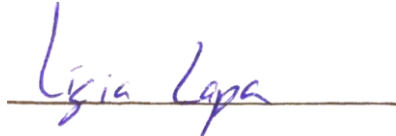
Anaerobic Biodigesters, Anaerobic Digestion, Biogas, Municipal Solid Waste



## *Declaração*

Lígia Alexandra Cadilhe Lapa declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

*13 de Novembro de 2016*



*Assinatura*



# Índice

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>NOMENCLATURA .....</b>	<b>XXI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA .....	2
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	3
<b>2. DIGESTÃO ANAERÓBIA.....</b>	<b>5</b>
2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....	5
2.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO .....	6
2.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PROCESSOS ANAERÓBIOS.....	7
2.3. FASES DO PROCESSO .....	7
2.3.1. HIDRÓLISE .....	8
2.3.2. ACIDOGÉNESE.....	9
2.3.3. ACETOGÉNESE .....	9
2.3.4. METANOGÉNESE .....	9
2.4. FATORES QUE CONDICIONAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	10
2.4.1. TEMPERATURA.....	10
2.4.2. pH.....	11
2.4.3. TEMPO DE RETENÇÃO.....	11
2.4.4. CARACTERÍSTICAS DO SUBSTRATO .....	12
2.5. PRODUTOS RESULTANTES .....	14
2.5.1. BIOGÁS .....	14
2.5.2. DIGERIDO.....	16
2.6. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	17
2.6.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL.....	17
2.6.2. TIPO DE PROCESSO .....	18
2.7. TECNOLOGIAS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE MÉDIA E GRANDE ESCALA .....	20
2.8. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE PEQUENA ESCALA.....	22
2.8.1. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CÚPULA FIXA .....	23
2.8.2. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE CÚPULA FLUTUANTE.....	24
2.8.3. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA TIPO SACO OU “TUBO” .....	25
2.8.4. UNIDADES DE DIGESTÃO ANAERÓBIA PRÉ-FABRICADAS.....	26
<b>3. CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>29</b>
3.1. A QUEM SE DESTINAM OS MANUAIS .....	29

3.2.	DIVULGAÇÃO E MOTIVAÇÃO DA POPULAÇÃO ENVOLVIDA.....	30
3.3.	CONSTITUIÇÃO DOS MANUAIS .....	30
3.3.1.	MANUAL DE CONSTRUÇÃO .....	31
3.3.2.	MANUAL DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO .....	32
3.4.	PROPOSTA DE MANUAL DE CONSTRUÇÃO.....	33
3.4.1.	INTRODUÇÃO .....	33
3.4.2.	COMPONENTES .....	33
3.4.3.	MATERIAIS .....	33
3.4.4.	VISÃO GERAL DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO .....	34
3.4.5.	CONSTRUÇÃO .....	36
3.4.6.	CONSIDERAÇÕES DE SEGURANÇA .....	48
3.5.	PROPOSTA DE MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO .....	49
3.5.1.	INTRODUÇÃO .....	49
3.5.2.	DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	49
3.5.3.	PRODUTOS RESULTANTES DA DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	49
3.5.4.	FATORES QUE CONDICIONAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	51
3.5.5.	INSTALAÇÃO.....	52
3.5.6.	OPERAÇÃO.....	52
3.5.7.	MANUTENÇÃO.....	62
3.6.	CONCLUSÃO/DISCUSSÃO SOBRE OS MANUAIS .....	63
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO A. ....</b>	<b>71</b>

## *Índice de Figuras*

Figura 1 – Esquema representativo dos conteúdos a abordar nos manuais.....	3
Figura 2 – Diagrama ilustrativo do processo de digestão anaeróbia [5] .....	8
Figura 3 – Esquematisação do processo e dos produtos resultantes .....	14
Figura 4 – Equivalências do biogás com outras fontes de energia [17] .....	16
Figura 5 – Frações resultantes do digerido.....	16
Figura 6 – Aspetos a tomar em consideração na escolha da unidade de digestão anaeróbia .....	18
Figura 7 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo Chinês .....	24
Figura 8 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo Indiano.....	25
Figura 9 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo “tubo” .....	26
Figura 10 – Exemplo de uma unidade pré-fabricada.....	27
Figura 11 – Fases iniciais da construção da base. Fonte: Projeto Bio&Energy .....	37
Figura 12 – Fases finais da construção da base. Fonte: Projeto Bio&Energy.....	37
Figura 13 – Construção da parede. Fonte: Projeto Bio&Energy.....	38
Figura 14 – Exemplo de cúpula em fibra de vidro. Fonte: Projeto Bio&Energy .....	38
Figura 15 – Unidade de digestão anaeróbia com cúpula fabricada em fibra de vidro. Fonte: Projeto Bio&Energy.....	39
Figura 16 – Caixa de entrada. Fonte: Projeto Bio&Energy.....	40
Figura 17 – Caixa de saída (1) e caixa de separação (2). Fonte: Projeto Bio&Energy .....	41
Figura 18 – Equipamentos e acessórios [25].....	42
Figura 19 – Armadilhas de água: automática e manual [25].....	44
Figura 20 – Configuração da saída e entrada de gás (em cima) e pontos de conexão (em baixo) [25].....	45
Figura 21 – Exemplo de fogão adaptado para utilização de biogás [26].....	46
Figura 22 – Esquematisação do tipo de tubo desde a caixa de saída até à caixa de separação .....	47
Figura 23 – Esquematisação do tipo de tubo desde a caixa de separação até ao terreno ....	47

Figura 24 – Esquematização da cor dos tubos desde o digestor até ao dessulfurizador e manómetro finalizando no fogão .....	47
Figura 25 – Sinais de proibição.....	49
Figura 26 – Exemplo da utilização de biogás em fogões adaptados.....	50
Figura 27 – Exemplo de utilização do digerido como biofertilizante [27] .....	50
Figura 28 – Gama de temperaturas do processo .....	51
Figura 29 – Nutrientes necessários para um crescimento ótimo.....	52
Figura 30 – Exemplo de chama alaranjada e chama azul .....	56

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 – Principais marcos históricos da digestão anaeróbia [3] [4] .....	6
Tabela 2 – Gamas de temperaturas adequadas ao processo de digestão anaeróbia [5] .....	11
Tabela 3 – Composição típica do biogás [16] .....	14
Tabela 4 – Propriedades do biogás [10] .....	15
Tabela 5 – Produção de gás a partir de digestão anaeróbia de vários resíduos [12].....	15
Tabela 6 – Resíduos utilizados na digestão anaeróbia, em função do teor de sólidos [15].	19
Tabela 7 – Tecnologias de digestão anaeróbia em média e grande escala .....	20
Tabela 8 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula fixa .....	23
Tabela 9 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula flutuante .....	25
Tabela 10 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de tipo saco ou “tubo” .....	26
Tabela 11 – Vantagens e desvantagens das unidades pré-fabricadas .....	27
Tabela 12 – Características e vantagens/desvantagens de uma solução combinada (digestor construído com materiais disponíveis localmente com cúpula pré-fabricada) .....	32
Tabela 13 – Lista de matérias necessários para a construção do digestor .....	34
Tabela 14 – Dimensões da Escavação .....	36
Tabela 15 – Dimensões da cúpula .....	39
Tabela 16 – Dimensões da caixa de alimentação .....	40
Tabela 17 – Dimensões da caixa de saída .....	41
Tabela 18 – Dimensões da caixa de separação .....	41
Tabela 19 – Indicadores de pH .....	51
Tabela 21 – Substratos recomendáveis para alimentação do digestor [27] .....	54
Tabela 22 – Substratos não recomendáveis para alimentação do digestor [27] .....	54
Tabela 23 – Quantidades máximas recomendáveis [25] .....	54
Tabela 24 – Possíveis soluções para problemas no arranque do sistema .....	58
Tabela 25 – Possíveis soluções em problemas relacionados com os fogões .....	59

Tabela 26 – Possíveis soluções em problemas relacionados com a chama.....	59
Tabela 27 – Possíveis soluções em problemas de entrada e saída de resíduos/lama.....	60
Tabela 28 – Possíveis soluções para problemas relacionados com o manómetro.....	61
Tabela 29 – Frequência de verificação e limpeza dos principais elementos.....	62
Tabela 30 – Identificação de peças de substituição.....	63

# *Nomenclatura*

## **Abreviaturas**

AGV – Ácidos Gordos Voláteis

DA – Digestão Anaeróbia

EPI – Equipamento de Proteção Individual

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

GEE – Gases de Efeito Estufa

HPDE – Polietileno de Alta Intensidade

MOB – Matéria Orgânica Biodegradável

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RUB – Resíduos Urbanos Biodegradáveis

TRH – Tempo de Retenção Hidráulico



# 1. Introdução

As sociedades modernas estão cada vez mais dependentes do uso de energia. Com a crescente procura de energia, por parte dos países em desenvolvimento, surge uma maior pressão na exploração de fontes de energia não renováveis como o petróleo, o carvão e o gás natural. O aumento da dependência de terceiros e das emissões de gases com efeito de estufa são as inerentes consequências do recurso às fontes de energia não renováveis. Os problemas ambientais têm grandes implicações sociais e económicas e as suas soluções oferecem mudanças na sensibilização do público, nas atitudes e na criação de novas soluções.

Em alguns países subdesenvolvidos, 90% da energia provém da madeira e de outros biocombustíveis. Para 2 milhões de pessoas em África, Ásia e América Latina, essa é a principal fonte de energia nas suas casas. Esta utilização não é feita de uma forma racional e sustentável, mas como uma busca desesperada por energia, que leva à desflorestação de grandes áreas.

Assim, a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) reconhece que melhorar a utilização dos recursos de energia de biomassa, oferece benefícios ambientais, infraestruturas rurais melhoradas e oportunidades de emprego, contribuindo também para atingir dois dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio:

erradicar a pobreza e a fome (objetivo 1º) e garantir a sustentabilidade ambiental (objetivo 7º) [1].

Torna-se assim importante a utilização de outras soluções. Existem vários tipos de fontes de energia, entre as quais as energias renováveis, onde se insere o biogás, que se forma a partir da degradação da matéria orgânica pelos microrganismos anaeróbios, na ausência de oxigénio.

É neste contexto que surge o projeto “Bioenergia em São Tomé e Príncipe – Aproveitamento Energético de Biogás”, que tem como objetivo a aplicação do processo de digestão anaeróbia ao tratamento de resíduos orgânicos produzidos pelos agregados familiares, com vista ao aproveitamento em pequenos fogões adaptados, do biogás produzido em São Tomé e Príncipe. Perante este projeto surgiu a necessidade de elaboração de dois manuais que têm como objetivo servir de ferramenta de orientação e aprendizagem da construção e operação/manutenção das unidades.

O biodigestor é um dos sistemas mais utilizados para a obtenção de biogás. Estes sistemas já estão implantados ou projetados um pouco por todo o mundo. O funcionamento ideal de um biodigestor constituiu um desafio importante, dada a novidade da tecnologia em comunidades rurais. Replicar essas tecnologias a uma maior escala revela a necessidade de otimizar os processos atuais e orientar a progressão, de forma a conseguir uma implementação bem sucedida e com benefício social.

## **1.1. Apresentação da Empresa**

A Ecovisão é uma empresa multinacional de serviços e tecnologias do ambiente, com mais de 20 anos de existência e é, junto com outras empresas, parte integrante do Grupo Elevo.

É uma empresa que atua em terreno nacional, mas também internacionalmente, como por exemplo Europa, África, América Latina e Médio Oriente. Diversos países destes continentes contam já com projetos assinados pela Ecovisão, que dispõe mesmo de delegações abertas em alguns dos territórios onde mantém uma presença mais vincada, nomeadamente Angola, Cabo Verde e Moçambique.

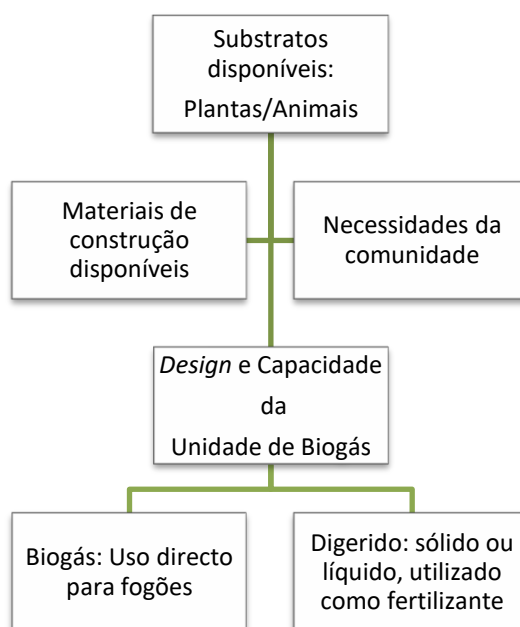
## **1.2. Objetivos**

Os objetivos principais deste trabalho são:

- Explicar de forma sucinta em que se baseia o processo de digestão anaeróbia, quais as etapas envolvidas e quais os produtos resultantes e, por fim, quais os modelos de pequena escala comumente utilizados;
- Apresentar uma proposta que sirva como fonte de informação e orientação, para a aprendizagem das populações que beneficiarão diretamente desta tecnologia e para futuras comunidades que de forma autónoma pretendam recriar esta tecnologia;
- Habilitar a população-alvo e quadros técnicos envolvidos para a operacionalização da solução de produção de biogás;
- Contribuir para a elaboração de um Manual de Construção, com recursos locais, e de um Manual de Operação e Manutenção (O&M).

### 1.3. Organização do relatório

O esquema da Figura 1 representa, de forma muito sucinta, o conteúdo deste relatório.



**Figura 1 – Esquema representativo dos conteúdos a abordar nos manuais**

Este relatório está organizado em 4 capítulos:

- No primeiro capítulo (introdução) faz-se um enquadramento do problema em estudo, avaliando a sua importância, atualidade e oportunidade. São ainda apresentados os objetivos fixados e metodologia utilizada;
- A digestão anaeróbia é apresentada no capítulo 2, onde se incluiu um

enquadramento histórico, a descrição do processo, vantagens e desvantagens, as fases do processo, os fatores ambientais considerados, subprodutos obtidos que podem ser valorizados, assim como uma breve descrição dos tipos de tecnologias e alguns dos digestores mais utilizados;

- No capítulo 3, referente ao caso de estudo, procede-se à caracterização dos manuais, considerações e desenvolvimento dos mesmos;
- Por último, o capítulo 4 sumaria as principais conclusões obtidas neste trabalho, apresentando ainda as limitações do estudo e recomendações para trabalhos futuros.

## 2. Digestão Anaeróbia

### 2.1. Enquadramento Histórico

Em 1770 começaram a surgir os primeiros estudos relacionados com o biogás e com a digestão anaeróbia. No entanto, a maior procura por este processo ocorreu em meados de 1970, quando se deu a crise do petróleo. Os países ocidentais interessaram-se pelo desenvolvimento de tecnologia adequada à aplicação do processo de digestão anaeróbia, tendo em vista a obtenção de uma energia alternativa aos combustíveis fósseis. Esta tecnologia era adequada ao tratamento de efluentes líquidos com elevada carga orgânica. A instalação de digestores familiares na China e na Índia, particularmente em zonas rurais, permitiu fazer frente à escassez de combustíveis naturais [2]. A Índia, à semelhança da China, possui atualmente milhões de digestões anaeróbios de pequena escalada instalados e em operação [3].

No entanto, à medida que a quantidade de RSU produzido aumentava e que se pretendia obter formas alternativas de energia, surgiu a necessidade de desenvolver tecnologia adequada ao processamento de correntes com maior carga de sólidos, pelo que, na década de 1980 houve um grande desenvolvimento nesta área, sendo possível operar digestores anaeróbios com teores de cerca de 40% de sólidos, daí surgiram as unidades de digestão

anaeróbia de média e grande escala, que serão abordadas mais à frente no subcapítulo 2.7.

A Tabela 1 resume os principais marcos históricos relacionados com a digestão anaeróbia e com a produção de biogás, que conduziram ao atual estado deste processo.

**Tabela 1 – Principais marcos históricos da digestão anaeróbia [3] [4]**

<b>Ano</b>	<b>Marco Histórico</b>
1770	O italiano Volta recolheu gás dos pântanos e investigou o seu comportamento de queima;
1821	Avogadro identificou o metano (CH <sub>4</sub> );
1875	Propoff afirmou que o biogás é produzido em condições anaeróbias;
1884	Pasteur propôs a produção de biogás para a iluminação pública, a partir da cama de cavalos;
1913	Primeiro digestor anaeróbio com sistema de aquecimento;
1920	Primeira estação de tratamento de águas residuais a recolher o biogás e a injetá-lo na rede pública de gás;
1940	Adição de resíduos sólidos orgânicos (gordura) para aumentar a produção de biogás a partir de águas residuais;
1950	Instalação da primeira grande unidade de tratamento de resíduos agropecuários;
1970	Nesta década foram instalados milhões de digestores anaeróbios de pequena escala e de baixo custo, nas zonas rurais da China e da Índia;
1974	A primeira grande crise da energia levou a um grande desenvolvimento da tecnologia de digestão anaeróbia;
1985	Os efluentes provenientes das explorações agropecuárias foram muito usados para produzirem biogás;
1990	A investigação científica conduziu à melhoria da eficiência do processo de digestão anaeróbia, através de uma mistura de substratos otimizada e de diferentes usos para o biogás;
2003	Mata-Alvarez apresenta uma boa descrição do processo aplicado ao caso particular dos RSU;
2008	As únicas fontes de produção de biogás em Portugal centram-se nas unidades agrícolas, nos resíduos sólidos municipais e alguma codigestão. A principal utilização do biogás é para a produção de eletricidade;
2010	Alemanha é o país com maior produção de biogás no mundo, devido ao grande desenvolvimento de biogás no sector primário;
2011	Variedades como o trevo, os cereais, o milho e o girassol mostraram ser viáveis para a produção de metano. Outras espécies como o linho, a batata, a beterraba, a couve, o nabo, e a alcachofra foram também testados com sucesso;
2013	A Finlândia inaugurou a maior fábrica de biogás do mundo, na região de Vaasa, na costa ocidental do país.
2013	Em Portugal, a produção de biogás foi de 65 ktep.

## **2.2. Descrição do processo**

A digestão anaeróbia consiste num processo em que a matéria orgânica biodegradável

sofre uma degradação, por ação de microrganismos anaeróbios, na total ausência de oxigénio. O processo ocorre naturalmente quando as condições envolventes o proporcionam. A ação humana, através da construção de digestores anaeróbios, recria as condições naturais de forma controlada. Durante o processo, a matéria orgânica é convertida maioritariamente em metano, dióxido de carbono e biomassa [5].

### **2.2.1. Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios**

Tal como outros processos de produção de energia, este apresenta vantagens e desvantagens. Este processo apresenta muitos benefícios ambientais quando considerado como uma etapa de gestão de resíduos associados à produção de energia, e oferece muitas vantagens em relação a outras formas de tratamentos de resíduos, tais como:

- Produção de energia renovável em substituição da energia proveniente de fontes fósseis;
- Redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE);
- Redução da poluição de solos e do meio hídrico, resultante do tratamento de efluentes e resíduos de exploração agropecuária e indústria alimentar, com grandes cargas orgânicas;
- Tecnologia com um potencial de adaptação às diversas especificações de cada projeto.

Quanto às desvantagens, é importante salientar:

- O início do processo é lento;
- As bactérias anaeróbias são suscetíveis à inibição por compostos tóxicos ou pela presença de oxigénio;
- Pode ocorrer produção de maus odores;
- Os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbica são sensíveis a pequenas alterações do ambiente. Portanto, o processo é suscetível a perturbações.
- Baixa tarifa de venda de energia elétrica produzida não incentiva a implementação destes sistemas relativamente a outros;
- Pode ocorrer no processo um baixo rendimento em metano.

### **2.3. Fases do processo**

A digestão anaeróbica ocorre através de uma série de processos sequenciais e paralelos,

onde intervém uma grande variedade de microrganismos, tal como demonstra a Figura 2.

O processo de digestão anaeróbia pode ser resumido, em quatro passos principais, da seguinte forma [5]:

- Hidrólise, é um passo mediado por enzimas extracelulares que solubilizam a matéria particulada e substratos que não podem ser utilizados diretamente pelos organismos anaeróbios;
- Acidogénese ou fermentação, consiste na degradação de substratos solúveis, como aminoácidos e açúcares, que podem ser facilmente degradados na ausência de um aceitador de eletrões externo. Os produtos deste processo metabólico são ácidos orgânicos e álcoois;
- Acetogénese, é uma etapa onde os produtos da fermentação são degradados a acetato usando iões de hidrogénio ou bicarbonato como aceitadores de eletrões externos;
- Metanogénese, consiste na produção de metano e dióxido de carbono a partir do acetato, por ação de microrganismos especializados.

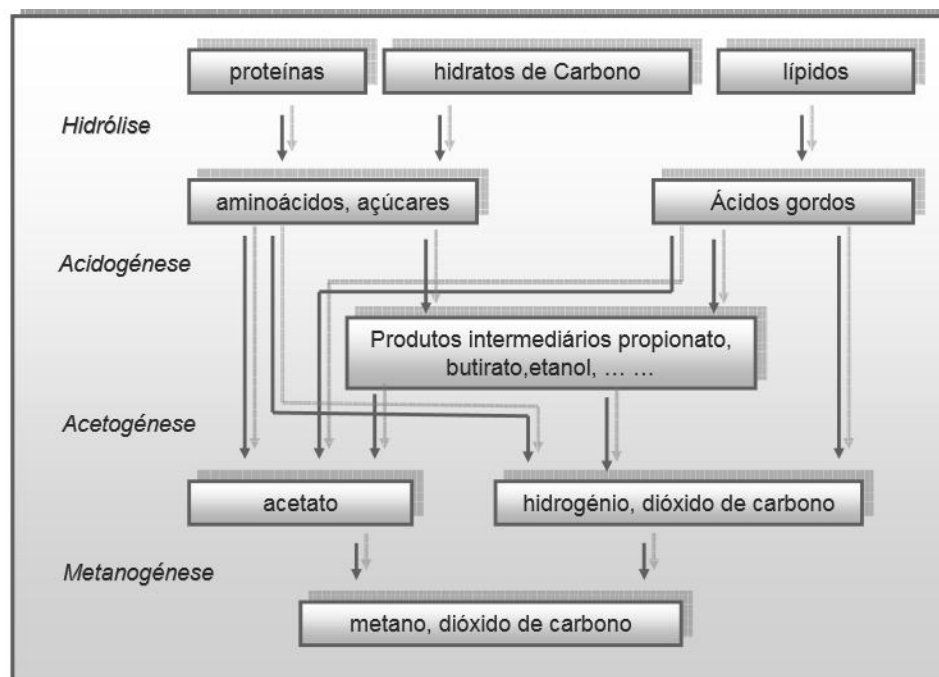
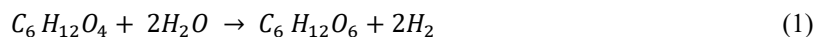


Figura 2 – Diagrama ilustrativo do processo de digestão anaeróbia [5]

### 2.3.1. Hidrólise

A hidrólise consiste na quebra e solubilização de compostos com elevado peso molecular, como as proteínas, os lípidos e os glúcidos, em substâncias orgânicas solúveis

(monómeros) como os aminoácidos, os açúcares, e os ácidos gordos de cadeia longa, entre outros. Esta reação é catalisada por exo-enzimas como protéases, celulasas e lípases, as quais são segregadas pelas bactérias fermentativas [6]. A hidrólise dos biorresíduos alimentares pode ser ilustrada através da reação representada na Eq. (1) [7]:



### **2.3.2. Acidogénese**

Nesta etapa, os monómeros resultantes da hidrólise servem de substrato ao processo fermentativo da acidogénese. As bactérias fermentativas degradam os monómeros orgânicos de açúcares e aminoácidos, ocorrendo então a formação de ácidos gordos voláteis (AGV), como o ácido propiónico, butírico e valérico, e em menores concentrações, dióxido de carbono e hidrogénio [7].

### **2.3.3. Acetogénese**

A terceira etapa do processo de digestão anaeróbia, consiste na transformação dos produtos de acidogénese (AGV) em ácido acético ( $CH_3COOH$ ) ou acetato, dióxido de carbono e hidrogénio [5]. Existem dois tipos de bactérias intervenientes nesta etapa:

- Bactérias acetogénicas produtoras obrigatórias de hidrogénio – promovem a oxidação anaeróbia dos ácidos gordos voláteis a acetato através da utilização de diversos tipos de substratos, nomeadamente o etanol, ácido propiónico ou ácido butírico. Estas bactérias são muito sensíveis à concentração de hidrogénio existente no meio [8];
- Bactérias acetogénicas utilizadoras de hidrogénio – estas bactérias produtoras de acetato encontram-se em pequeno número no digestor anaeróbio; produzem entre 2 a 5% de todo o acetato produzido durante o processo de digestão anaeróbia, através do consumo de hidrogénio e dióxido de carbono [8].

### **2.3.4. Metanogénese**

Na última etapa do processo, ocorre a produção de metano a partir do acetato, do hidrogénio e dióxido de carbono. Existem dois tipos principais de bactérias metanogénicas [5]:

- Bactérias metanogénicas hidrogenofílicas – produzem metano a partir de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. São responsáveis por aproximadamente 30% do metano produzido na digestão anaeróbia.
- Bactérias metanogénicas acetoclásticas – produzem metano e CO<sub>2</sub> usando acetato como substrato, sendo este o mecanismo que contribui mais intensamente para a produção de metano (70%).

## **2.4. Fatores que condicionam a digestão anaeróbia**

Devido à presença de uma vasta diversidade de microrganismos na digestão anaeróbia, as exigências ambientais e nutricionais envolvidas são muito complexas. Uma melhor ou pior eficiência do processo de digestão anaeróbia depende do tipo e da estabilidade das condições ambientais presentes. Estes fatores estão associados às próprias características do resíduo, e podem ou não ser corrigidos de forma a criar as condições ótimas para o desenvolvimento das bactérias. Na prática, esta situação não é muitas vezes possível ou viável de ser atingida, pois muitos digestores operam em condições pouco favoráveis à rápida adaptação e estabelecimento das populações microbianas, o que pode conduzir a rendimentos que ficam abaixo dos valores esperados [9].

Uma mudança de temperatura, alterações nos substratos ou nas suas concentrações podem conduzir a uma falha na produção de biogás. Após estas perturbações, pode demorar três ou mesmo mais semanas, até que o sistema microbiológico se adapte de novo às novas condições e inicie a produção de biogás sem qualquer intervenção do exterior [10].

Além da necessidade de substrato e de uma população microbiana viável, há vários fatores que afetam este processo, nomeadamente a temperatura, o pH, o tempo de retenção e características do substrato, designadamente os nutrientes e componentes tóxicos e inibidores [11].

### **2.4.1. Temperatura**

Este parâmetro assume um papel fundamental no grau de eficiência da digestão anaeróbia, uma vez que afeta a velocidade de crescimento dos microrganismos e a produção de biogás. A digestão anaeróbia pode ocorrer numa gama de temperaturas bastante alargada, dado que existem diferentes microrganismos intervenientes em cada uma das fases do processo. Normalmente existem três intervalos de temperaturas adequadas à digestão

anaeróbia, tal como é possível observar na Tabela 2.

**Tabela 2 – Gamas de temperaturas adequadas ao processo de digestão anaeróbia [5]**

<b>Gama de Temperatura</b>	<b>Temperatura do Processo</b>
Psicrofílica	5 – 20 °C
Mesofílica	20 – 40 °C
Termofílica	40 – 70 °C

Apesar de existirem três gamas de temperatura adequadas à realização da digestão anaeróbia, as duas gamas mais usadas são a gama Mesofílica e a gama Termofílica, dado que são as gamas em que a velocidade de reação é maior. Na gama Mesofílica, a reação ocorre a uma velocidade maior entre os 30 e 38 °C e na gama Termofílica entre os 50 e 55 °C. A eficiência de produção de biogás é máxima para dois valores de temperatura: 35 e 55 °C [2].

#### **2.4.2. pH**

Uma vez que o pH afeta a taxa de crescimento dos microrganismos, as variações de pH podem causar importantes alterações na constituição microbiana. Para que a digestão anaeróbia ocorra com sucesso, o pH da mistura residual deve estar compreendido entre 6,8 e 7,5, pois as bactérias metanogénicas não podem sobreviver abaixo de um pH = 6,2 [12]. A acidez do meio pode aumentar significativamente devido à alimentação de grande quantidade de resíduo fresco (devido ao aumento da velocidade das reações na fase acidogénica, relativamente à fase metanogénica). Pelo contrário, valores elevados de pH indicam uma deficiência na fase acidogénica, conduzindo à libertação de hidrogénio, amoníaco e sulfureto de hidrogénio. Por estes motivos é necessário proceder a um controlo extremamente apertado do pH, de modo a evitar o colapso do sistema [2].

#### **2.4.3. Tempo de retenção**

O tempo que a matéria orgânica permanece no digestor é designado por tempo de retenção, dependendo do tipo de digestor. Há dois tipos de tempo de retenção: o tempo de retenção de sólidos e o tempo de retenção hidráulico. O primeiro corresponde ao tempo médio que as bactérias permanecem no digestor. O segundo corresponde ao tempo que o líquido permanece no digestor. Um tempo de retenção de sólidos elevado permite maximizar a capacidade de recuperação do gás e a capacidade de proteger o processo de efeitos

provocados pelos compostos tóxicos presentes nos resíduos a tratar [13]. O tempo de retenção pode ser calculado de acordo com a Eq. (2) [14]:

$$TRH = \frac{V_R}{C} \quad (2)$$

Onde:

TRH – Tempo de Retenção Hidráulico (dias);

VR – Volume do digestor anaeróbio (m<sup>3</sup>);

C – Caudal de entrada de substrato no digestor anaeróbio (m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>)

Um TRH baixo leva a uma diminuição na produção de biogás e ao aumento da quantidade de material por digerir na saída do digestor, mas também a uma redução do custo inicial da unidade de digestão anaeróbia, por necessitar de digestores de menor dimensão [7]. Com o intuito de se alcançar uma unidade de digestão anaeróbia o mais economicamente viável, tem de se alcançar um equilíbrio entre estas variáveis: produção de biogás e dimensão do digestor. Quanto maior for o tempo que os resíduos permanecem no interior do digestor em condições adequadas, maior será a sua degradação e conseqüentemente maior será também a produção de biogás. O TRH varia em função do tipo de resíduo a valorizar, das condições de reação e do tipo de utilização que se pretende para o digerido [7]. A temperatura, o teor em sólidos e a agitação do digestor anaeróbio são os parâmetros que mais afetam o TRH.

#### **2.4.4. Características do substrato**

Substrato pode ser considerado como qualquer substância que contenha uma quantidade significativa de matéria orgânica, passível de ser convertida em biogás. A digestão anaeróbia é aplicável a qualquer tipo de biomassa que se decomponha através de processos biológicos, tais como: dejetos animais, resíduos vegetais, frações orgânicas de resíduos sólidos urbanos, resíduos de indústria alimentar, águas residuais, etc. Para todos estes tipos de resíduos, a digestão anaeróbia pode ser aplicada desde que as condições ambientais e operacionais sejam as adequadas.

A eficiência do processo está também relacionada com o tipo de resíduos a tratar, nomeadamente pela quantidade de sólidos voláteis a alimentar no digestor, que é uma medida da quantidade de material orgânico passível de ser digerido. Além deste, é necessário ter em conta o teor em humidade, a presença de nutrientes como o azoto e o

fósforo, mas também de compostos tóxicos e inibidores. O tipo de substratos utilizados tem grande influência na operação dos sistemas anaeróbios, bem como na qualidade dos produtos finais: o biogás e digerido.

### **Nutrientes**

Os microrganismos presentes no processo de digestão anaeróbia, assim como todos os organismos vivos, necessitam de diversos nutrientes para que os seus processos celulares possam ocorrer. Os nutrientes que se encontram presentes em concentrações mais elevadas no processo de digestão anaeróbia são o carbono (C), o azoto (N) e o fósforo (P). Consequentemente, a sua proporção (razão) é um importante indicador para o controlo do processo de digestão anaeróbia. Para que o processo ocorra adequadamente, a razão C/N tem de se situar entre 15-20. Para diversos autores o valor ideal é de 25 [15]. Uma razão C/N baixa indica um elevado teor de azoto no processo de digestão anaeróbia, que leva a uma acumulação de amónia e a um conseqüente aumento do pH para valores superiores a 8,5 que são letais para as bactérias metanogénicas. Uma razão C/N elevada é indicadora de uma elevada presença de carbono e de escassez de azoto, que leva a um rápido consumo do azoto disponível por parte das bactérias metanogénicas, resultando numa diminuição da produção de biogás.

### **Componentes tóxicos e inibidores**

As substâncias inibidoras ou tóxicas para os microrganismos intervenientes no processo de digestão anaeróbia ou são formadas no decorrer do processo, ou são transportadas para o processo juntamente com a matéria orgânica a tratar. Alguns compostos são tóxicos para os microrganismos intervenientes no processo de digestão anaeróbia, mesmo quando presentes em quantidades vestigiais. Nesses casos pode ocorrer o colapso do sistema, sendo necessário proceder-se à limpeza e rearranque das unidades.

Uma das situações mais frequentes de inibição da digestão anaeróbia é a acumulação de ácidos gordos voláteis (AGV), que pode provocar alterações no pH e na alcalinidade do meio. Algumas das substâncias inibidoras ou tóxicas para os microrganismos do processo de digestão anaeróbia são: ácidos gordos voláteis, amoníaco, sulfuretos, metais pesados e oxigénio.

## 2.5. Produtos resultantes

Como já referido anteriormente, a digestão anaeróbia tem como produtos resultantes o biogás e o digerido (Figura 3), que podem e devem ser valorizados.

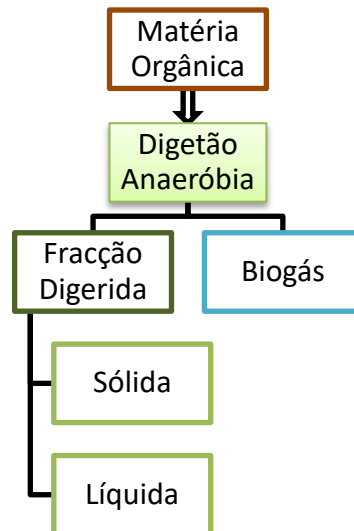


Figura 3 – Esquemática do processo e dos produtos resultantes

### 2.5.1. Biogás

O biogás é uma mistura gasosa rica em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), podendo ainda conter pequenas quantidades de outros gases, como azoto e hidrogénio [2]. Na Tabela 3 apresenta-se a gama de composição típica que cada componente apresenta no volume total de biogás.

Tabela 3 – Composição típica do biogás [16]

Componente	% do Volume total de biogás
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 - 80
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	20 - 40
Outros	1 - 5

O potencial de biogás pode ser estimado através da concentração de sólidos voláteis à entrada e a sua percentagem de redução durante o processo. A velocidade de produção do gás pode variar com o teor de sólidos voláteis do substrato e o nível da atividade biológica no digester. A utilização do biogás como uma fonte eficiente de energia depende significativamente da sua concentração em metano. Este gás (metano) apresenta propriedades semelhantes ao gás natural, não apresenta cheiro e é altamente inflamável. Comparado com os combustíveis fósseis, a combustão do metano apresenta a vantagem de

produzir uma menor quantidade de CO<sub>2</sub> e não gera enxofre nem óxidos de enxofre. A principal limitação da utilização deste composto como combustível, é a sua dificuldade em ser liquefeito, o que leva a um problema ao nível de transporte. O biogás apresenta, em média, as características, indicadas na Tabela 4:

**Tabela 4 – Propriedades do biogás [10]**

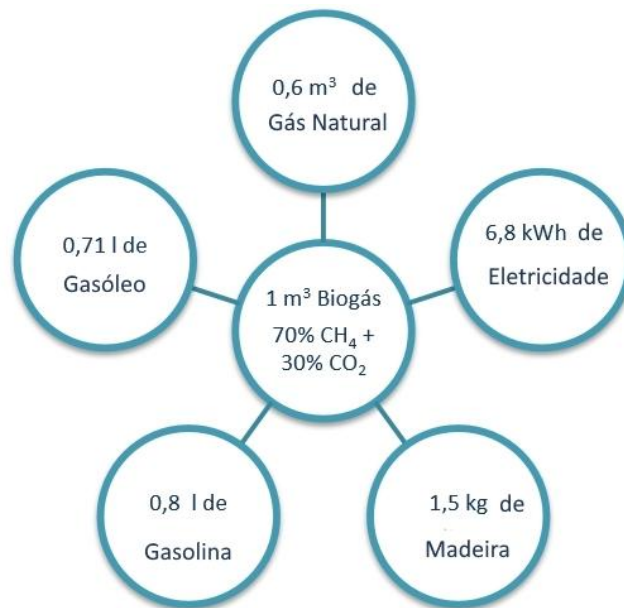
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Poder calorífico	6,0 – 6,5 kWh.m <sup>-3</sup>
Limite de explosão	6 – 12% de biogás no ar
Temperatura de ignição	650 – 750 °C
Pressão crítica	75 – 89 bar
Temperatura crítica	- 82,5 °C
Densidade	1,2 kg.m <sup>-3</sup>
Odor	Enxofre
Massa molar	16,043 kg.kmol <sup>-1</sup>

As características dos substratos adicionados e as condições de funcionamento do processo de digestão são determinantes na quantidade e qualidade do biogás resultante, na Tabela 5 é possível observar-se a produção de biogás proveniente de vários resíduos.

**Tabela 5 – Produção de gás a partir de digestão anaeróbia de vários resíduos [12]**

<b>Resíduo</b>	<b>Produção de gás (m<sup>3</sup>/kg sólidos secos)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Metano (%)</b>	<b>Tempo de Retenção (Dias)</b>
Gado	0,20 - 0,33	11,1 - 31,1	----	----
Galinha	0,31 - 0,56	32,6 - 50,6	58 - 60	9 - 30
Porco	0,49 - 0,76	32,6 - 32,9	58 - 61	10 - 15
Ovelha	0,37 - 0,61	---	64	20
Lixo Municipal	0,31 - 0,35	35 - 40	55 - 60	15 - 30

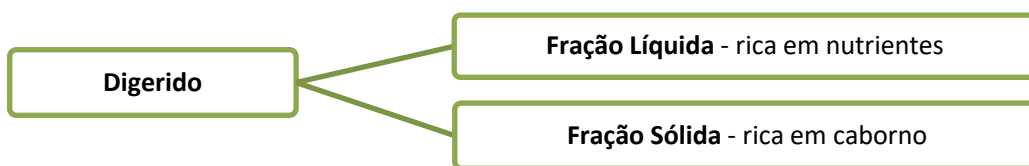
O biogás pode ser utilizado como biocombustível e fonte de eletricidade para diversos fins, incluindo transporte. Pode ser utilizado para produção de energia calorífica ou térmica e para cozinhar, por exemplo em comunidades rurais. Na Figura 4, podem-se observar algumas equivalências do biogás em relação a outras fontes de energia.



**Figura 4 – Equivalências do biogás com outras fontes de energia [17]**

### 2.5.2. Digerido

Digerido, ou também biofertilizante, é a designação dada à biomassa fermentada que fica no interior do biodigestor, na sua maioria sob a forma líquida, rica em nutrientes, principalmente, nitrogénio, fósforo, potássio e material orgânico, com grande poder de fertilização, no entanto também surge sob a forma sólida, sendo esta rica em carbono (Figura 5).



**Figura 5 – Frações resultantes do digerido**

Quando aplicado no solo melhora as suas qualidades físicas, químicas e biológicas. Após a digestão anaeróbia, se o produto obtido cumprir as normas ambientais de aplicação no solo, este pode ser diretamente aplicado nos solos das explorações agrícolas.

## 2.6. Unidades de digestão anaeróbia

A peça central de uma unidade de digestão anaeróbia é o reator, também designado por digestor ou digestor anaeróbio. Neste ocorre a decomposição da matéria orgânica (substrato) e a produção de biogás, na ausência de oxigénio molecular.

### 2.6.1. Caracterização geral

Uma característica comum a todos os digestores anaeróbios, independentemente das condições de operação, da sua dimensão e do resíduo que valorizam, é o facto de possuírem sistemas que permitam que o substrato entre no digestor e que o biogás e o digerido saiam do mesmo [15]. A par desta característica, todos os digestores anaeróbios têm de atender aos seguintes requisitos, independentemente da dimensão, do tipo de resíduo a valorizar, e das condições de operação [3]:

- **Estanquidade** – Com o intuito de prevenir fugas de líquidos e de biogás;
- **Isolamento térmico** – O qual depende das condições de operação do digestor e do clima local. No entanto, independentemente destes fatores, todos os digestores anaeróbios deverão ser construídos com o intuito de maximizar o seu isolamento térmico, minimizando desta forma as perdas de calor para o exterior;
- **Área superficial mínima** – Quanto menor for a área de superfície de um digestor anaeróbio, menor serão as perdas de calor para o exterior. Atendendo a este requisito, um digestor anaeróbio com uma forma esférica é o que possui a melhor razão entre o seu volume e a sua área superficial. No entanto, um digestor anaeróbio com uma estrutura hemisférica, tanto na base como na cobertura, aproxima-se da forma ideal para minimizar a área superficial;
- **Estabilidade Estrutural** – Suficiente para suportar cargas estáticas e dinâmicas e ainda ser durável e resistente à corrosão.

Existem diversos tipos de digestores anaeróbios em operação na Europa e no Mundo. Os digestores podem ser construídos em cimento, metal, alvenaria e plástico. Podem ser colocados à superfície ou no subsolo, e podem assumir diversas formas como silos, calhas, bacias ou lagoas [15]. A dimensão da unidade de digestão anaeróbia é dada em função da capacidade do digestor anaeróbio, que pode possuir desde poucos metros cúbicos, no caso de pequenas instalações familiares e descentralizadas, a instalações centralizadas com digestores de diversos milhares de metros cúbicos de capacidade, como ocorre no caso de

instalações comerciais.

A Figura 6 ilustra quais os principais aspetos a tomar em consideração no processo de escolha de um digestor anaeróbio.

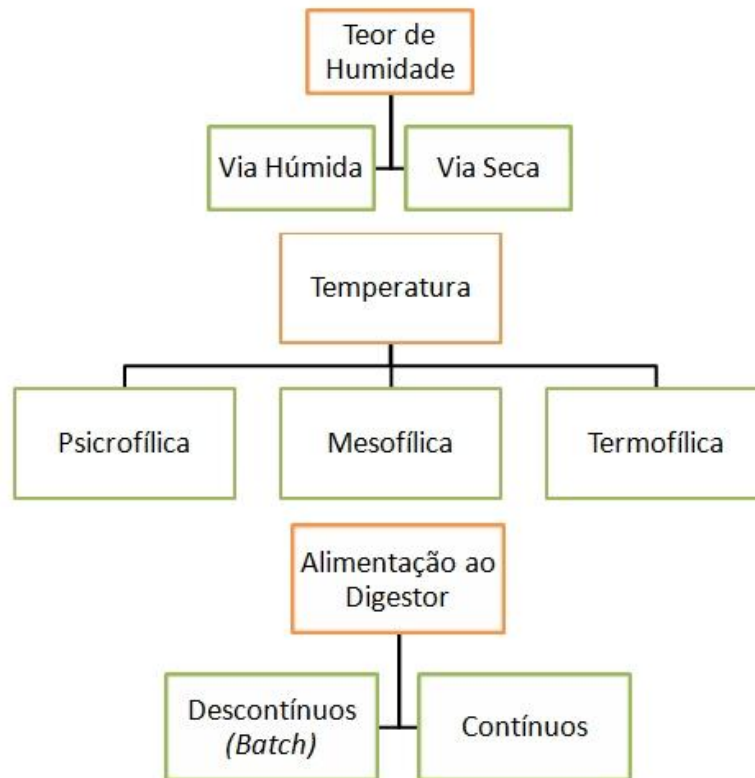


Figura 6 – Aspetos a tomar em consideração na escolha da unidade de digestão anaeróbia

### 2.6.2. Tipo de processo

Com tanta variedade de tecnologias e opções disponíveis, não é possível selecionar um modelo único e universal para um sistema de tratamento e valorização de resíduos por digestão anaeróbia. A opção da tecnologia mais adequada dependerá dos parâmetros operacionais escolhidos, que são:

- Teor de Sólidos;
- Regime de Alimentação.

#### Teor de sólidos

Dos processos utilizados para o tratamento anaeróbio, salientam-se duas categorias: baixo e alto teor de sólidos. As principais diferenças são [18]:

- **Digestão anaeróbia com baixo teor de sólidos:** também conhecida como **via húmida**. É um processo no qual os teores de sólidos no digestor apresentam valores na gama de 4 a 8%. Uma das desvantagens deste processo, quando aplicado a resíduos sólidos, é a necessidade de adicionar uma quantidade considerável de água para levar o teor de sólidos à gama pretendida.
- **Digestão anaeróbia com elevado teor de sólidos:** conhecida também por **via seca**. Este processo ocorre com uma percentagem total de sólidos de pelo menos 22%. As vantagens relativas à digestão anaeróbia com baixo teor de sólidos são a necessidade de adicionar menores quantidades de água e a maior produção de gás por unidade de volume do digestor.

Tabela 6 – Resíduos utilizados na digestão anaeróbia, em função do teor de sólidos [15]

Teor de Sólidos	Exemplos de Resíduos
Baixo Teor de Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lamas de ETAR;</li> <li>• Estrume;</li> <li>• Lixiviados;</li> </ul>
Elevado Teor de Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos orgânicos domésticos;</li> <li>• Dejetos de animais, com elevado teor em palha;</li> <li>• Resíduos verdes não lenhosos;</li> </ul>

### Regime de alimentação

O regime de alimentação dos resíduos ao biodigestor depende, não só da disponibilidade e frequência de produção dos bio resíduos, como do tipo de operação e controle que se pretende para o sistema, podendo ser do tipo contínuo ou descontínuo.

- **Sistemas contínuos:** são caracterizados por possuírem uma alimentação constante, dado que o substrato introduzido é proporcional à quantidade de resíduo digerido e biogás que sai do digestor. Nos digestores anaeróbios contínuos, a produção de biogás ocorre de uma forma constante e previsível, sendo desta forma independente da alimentação de novo substrato e da descarga do digerido [15];
- **Sistemas descontínuos (*batch*):** Os digestores anaeróbios em *batch* são alimentados com um volume de substrato, sendo este digerido e, posteriormente, completamente removido do digestor. Após ter completado um ciclo de digestão, o

digestor é novamente alimentado com uma nova porção de substrato e inóculo, e o ciclo é novamente repetido. Os digestores anaeróbios que possuem um método de alimentação em *batch* têm uma construção mais simples e são usados habitualmente para a digestão por via seca [14].

## 2.7. Tecnologias de digestão anaeróbia de média e grande escala

Devido ao facto de o presente trabalho abordar especificamente as unidades de digestão anaeróbia de pequena escala, não se irá aprofundar esta temática. Tendo em consideração este aspeto, apresenta-se de seguida uma pequena descrição de cada uma das tecnologias apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Tecnologias de digestão anaeróbia em média e grande escala**

<b>Tipos de Tecnologias de Digestão Anaeróbia</b>	
Via Seca	DRANCO
	VALORGA
	KOMPOGAS
Via Húmida	BTA
	WAASA

### **DRANCO**

As unidades de digestão anaeróbia que operam através da tecnologia DRANCO foram concebidas especificamente para valorizarem a fração orgânica dos RSU. Neste tipo de unidades de digestão anaeróbia a mistura do conteúdo do digestor ocorre através do digerido que sai pela parte inferior. De seguida, é então misturado com resíduo novo e é recirculado, através de bombagem, para a parte superior do digestor. A mistura de digerido e de resíduo ocorre na proporção de uma parte de resíduo digerido para seis partes de resíduo novo. Este tipo de unidades de digestão anaeróbia opera na gama termofílica e é eficaz no tratamento de resíduos com um teor de sólidos que varia entre 23 a 28%, suporta cargas orgânicas de  $12 \text{ kg VS.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$  e permanece estável com concentrações de amónia até  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  [19].

## **VALORGA**

A tecnologia VALORGA foi desenvolvida em 1981, em França, para valorizar a fração orgânica dos RSU. Numa unidade de digestão anaeróbia com a tecnologia VALORGA, o digester apresenta uma forma cilíndrica e a mistura no interior do mesmo ocorre com a injeção de biogás a alta pressão em intervalos de 15 minutos, através de uma rede de injetores instalados na base do digester anaeróbico. Este tipo de sistema de mistura apresenta uma elevada eficiência pelo que o digerido que sai do digester anaeróbio não necessita de ser recirculado [19]. Uma unidade de digestão anaeróbia VALORGA pode operar na gama mesofílica e termofílica, com um teor de sólidos no substrato que varia entre os 25 e os 32% e concentrações de amónia até  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  [20].

## **KOMPOGAS**

As unidades de digestão anaeróbia com a tecnologia KOMPOGAS foram desenvolvidas na Suíça nos anos 80. O sistema KOMPOGAS funciona em regime termofílico entre 55 e 60 °C e possui um tempo de retenção hidráulico médio entre 15 e 20 dias [3]. O digester anaeróbio deste sistema é constituído por um cilindro horizontal que pode ser construído em aço ou em betão. Este possui um funcionamento em fluxo de pistão, que se obtém através da adição dos resíduos por um dos lados do digester e através de um agitador central, situado no interior do digester [3]. Este movimento no interior do digester é responsável pela mistura/agitação do mesmo, minimizando desta forma a acumulação de sedimentos no interior do digester. A unidade de digestão anaeróbia KOMPOGAS requer um teor de sólidos no substrato constante de 23%. Para valores inferior a 23% de sólidos totais no substrato, partículas mais pesadas como a areia tendem a acumular-se na parte inferior do digester e para valores superiores a 23%, o menor conteúdo em água dos resíduos leva a uma maior resistência à ocorrência do fluxo no interior do digester [19].

## **BTA**

A tecnologia de digestão anaeróbia BTA foi desenvolvida na Alemanha nos anos 80 para valorizar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, ou os bio-resíduos [20]. A Tecnologia de digestão anaeróbia BTA dispõe de dois equipamentos patenteados conhecidos como *hidropulper* e hidrociclone, que fazem o pré-tratamento dos resíduos sólidos. No *hidropulper* é adicionada água aos resíduos, dado que esta tecnologia funciona com um teor de sólidos nos resíduos de 10% (via húmida). Este equipamento é ainda

responsável por retirar os objetos de maiores dimensões e de maior peso que não são biodegradáveis. No hidrociclone os resíduos não biodegradáveis de menores dimensões como areia e vidro são removidos [20]. Depois de sair do hidrociclone o substrato é pasteurizado durante uma hora a 70 °C e posteriormente é injetado no digestor anaeróbio de mistura completa e de gama mesofílica [19].

## **WAASA**

Esta tecnologia de valorização dos resíduos sólidos orgânicos foi pela primeira vez construída na cidade de Waasa na Finlândia, em 1989. Esta unidade valoriza os resíduos com um teor de sólidos no substrato entre 10 e 15% (via semi-húmida). Os resíduos são então pasteurizados durante uma hora a 70 °C e são adicionados a uma pré-câmara antes de serem colocados no digestor anaeróbio de mistura completa [19]. Esta pré-câmara é a etapa diferenciadora desta tecnologia dado que é adicionado aos resíduos um inóculo que contém a mesma biomassa que está no interior do digestor. Esta pré-injeção de inóculo acelera o processo de digestão anaeróbia que ocorre no interior do digestor [19].

## **2.8. Unidades de digestão anaeróbia de pequena escala**

Apresentam-se de seguida algumas das unidades de digestão anaeróbia em pequena escala, de dimensão familiar e descentralizadas, mais utilizadas em todo o Mundo. Não se pretende fazer uma listagem exaustiva de todas as unidades existentes, dado existirem diversas configurações. Este tipo de unidades de digestão anaeróbia é muito usado em países como a China e a Índia, e produz biogás que é usado para cozinhar e para a iluminação familiar. Estas unidades usam digestores muito simples e robustos, que necessitam de pouca manutenção e que podem ser construídos com materiais disponíveis localmente. A maior parte destas unidades não dispõe de instrumentos de controlo, nem de aquecimento, funcionando na gama Psicofílica ou mesmo na Mesofílica, dado que a maioria opera em climas quentes, e possui elevados tempos de retenção hidráulicos. Este tipo de unidades possui capacidade para valorizar diversos tipos de resíduos orgânicos, sendo normalmente usados para valorizar biorresíduos alimentares, excrementos de animais e misturas destes dois resíduos [14]. As unidades de digestão anaeróbia em pequena escala podem ser agrupadas em três tipos [21]:

- De cúpula fixa;
- De cúpula flutuante;
- De saco ou “tubo”.

### 2.8.1. Unidades de digestão anaeróbia de cúpula fixa

Uma unidade de digestão anaeróbia de cúpula fixa compreende um digestor constituído por uma zona de fermentação, pela cúpula onde o biogás é armazenado e por um tanque de saída. Este digestor funciona com base no princípio da prensa hidráulica, dado que o aumento de pressão resultante da acumulação de biogás na cúpula leva a que o digerido se desloque do digestor para o tanque de saída [22]. De igual forma, quando o biogás é extraído da parte superior da cúpula do digestor uma parte proporcional de digerido, armazenada no tanque de saída, retorna ao digestor. Neste tipo de unidades de digestão anaeróbia, a pressão do biogás no interior do digestor não permanece constante, aumentando à medida que mais biogás se acumula no interior da cúpula do digestor [21].

Os resíduos valorizados neste tipo de unidades de digestão anaeróbia por via húmida, podem ser constituídos por diversos materiais fibrosos, não lenhosos, em combinação com excrementos de animais ou resíduos alimentares. A alimentação de substrato a este tipo de unidades de digestão anaeróbia é do tipo contínuo, podendo, no entanto, suportar alguns dias sem ser abastecido, sendo o substrato acumulado abastecido em simultâneo, caso o sistema esteja dimensionado para tal [21].

As unidades de digestão anaeróbia de cúpula fixa devem estar enterradas até à parte superior da cúpula do digestor, por razões de segurança. Por norma, o tamanho do digestor deste tipo de unidades não é superior a 20 m<sup>3</sup> [21]. Na Tabela 8 encontram-se sintetizadas as principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula fixa.

**Tabela 8 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula fixa**

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixo custo de instalação;</li><li>• Período de vida longo;</li><li>• Sistemas compacto;</li></ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dificuldade de isolamento da cúpula;</li><li>• Ocorrência de fendas na cúpula;</li><li>• A pressão irregular do gás dificulta a sua utilização;</li><li>• Necessita de mão-de-obra especializada para a sua construção.</li></ul>

Um dos exemplos mais conhecidos deste tipo de unidade é o Modelo Chinês. O modelo chinês consiste: numa única câmara, subterrânea, construída em alvenaria (tijolo) ou betão.

Este modelo elimina o uso de um gasómetro em aço, no topo do digestor, possibilitando uma redução no preço, mas potenciando a ocorrência de fugas de biogás do mesmo, constituindo este, um dos maiores problemas deste tipo de unidades. O teor em sólidos totais do substrato a ser alimentado a esta unidade de digestão deve ser de cerca de 8% (digestão anaeróbia por via húmida) com o intuito de se evitar entupimentos e de se facilitar a circulação do material no interior do digestor. O Modelo Chinês possui um período de vida útil que pode variar entre os 20 e os 50 anos. A Figura 7 ilustra uma unidade de digestão anaeróbia de cúpula fixa do Modelo Chinês:

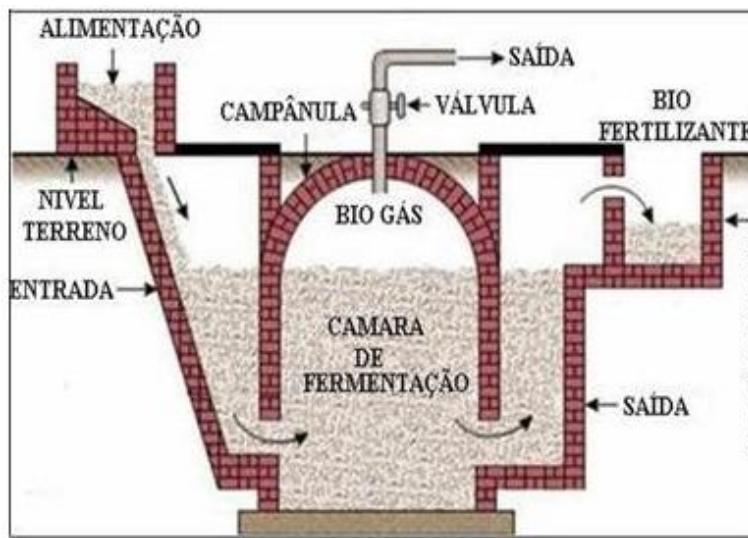


Figura 7 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo Chinês

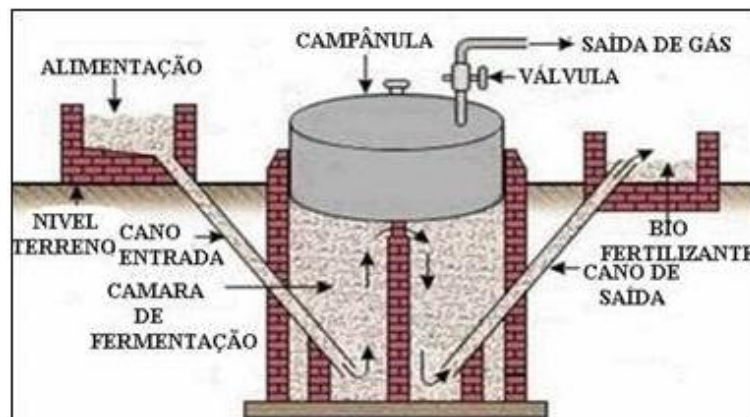
### 2.8.2. Unidades de digestão anaeróbia de cúpula flutuante

Uma unidade de digestão anaeróbia de cúpula flutuante consiste, essencialmente, num digestor cilíndrico e num gasómetro em forma de cúpula ou de tambor flutuante, na parte superior do digestor. Esta unidade possibilita que a pressão de saída do biogás seja constante, dado que à medida que o biogás vai sendo produzido, o mesmo é armazenado na cúpula que se desloca verticalmente, aumentando desta forma o volume de armazenamento e mantendo constante a pressão do biogás [22]. Esta unidade possui um tipo de alimentação contínua, sendo muito usada na valorização de dejetos animais e humanos por via húmida [21]. Na Tabela 9 encontram-se sintetizadas as principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula flutuante.

**Tabela 9 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de digestão anaeróbia de cúpula flutuante**

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidade de fácil operação;</li> <li>• Fornece biogás a pressão constante;</li> <li>• Volume de biogás armazenado é facilmente perceptível;</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manutenção dispendiosa;</li> <li>• Resíduos com elevado teor de sólidos, podem fazer com que a cúpula fique “presa”;</li> </ul>

Um dos exemplos mais conhecidos deste tipo de unidade é o Modelo Indiano. Este modelo é constituído pelo tanque digestor, usualmente construído em alvenaria (tijolo) ou em betão, pela cúpula flutuante, que é hoje em dia maioritariamente construída em fibra de vidro. Antigamente eram construídas em metal, pelo que ficavam mais suscetíveis à corrosão pelo biogás (Figura 8). À semelhança do Modelo Chinês, esta unidade de digestão anaeróbia possui um tipo de alimentação contínua, e o teor de sólidos totais do substrato é de cerca de 8% (digestão anaeróbia por via húmida).

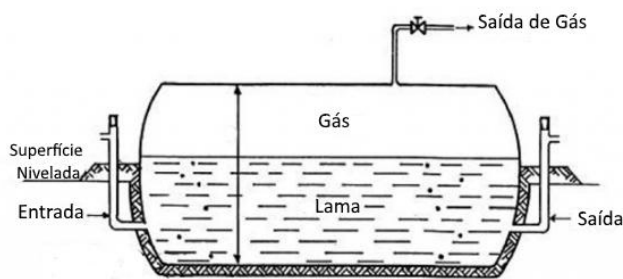


**Figura 8 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo Indiano**

### 2.8.3. Unidades de digestão anaeróbia tipo saco ou “tubo”

As unidades de digestão anaeróbia de tipo saco consistem num tubo flexível de borracha ou de plástico, colocado numa vala com uma profundidade ligeiramente superior ao raio do digestor [23]. Neste tipo de unidades de digestão (Figura 9), a parte superior do saco serve de gasómetro e a parte inferior serve de digestor anaeróbio [21]. A pressão do gás é obtida através do peso do digestor e da adição de pesos que pressionam o saco. Os materiais usados, plástico ou borracha sintética, possuem elevada resistência. No entanto, as

condições meteorológicas e as falhas mecânicas representam uma ameaça para este tipo de digestores [23].



**Figura 9 – Unidade de digestão anaeróbia do Modelo “tubo”**

O sistema de alimentação de uma unidade de digestão anaeróbia de saco é, por regra, descontínuo, possuindo a unidade uma vida útil que varia entre os 2 e os 5 anos. Relativamente à dimensão, este tipo de unidades de digestão anaeróbia pode possuir digestores tubulares com um comprimento de 10 a 20 m e um diâmetro de 5 m [21]. Na Tabela 10 sintetizam-se as principais vantagens e desvantagens deste tipo de unidades de digestão anaeróbia.

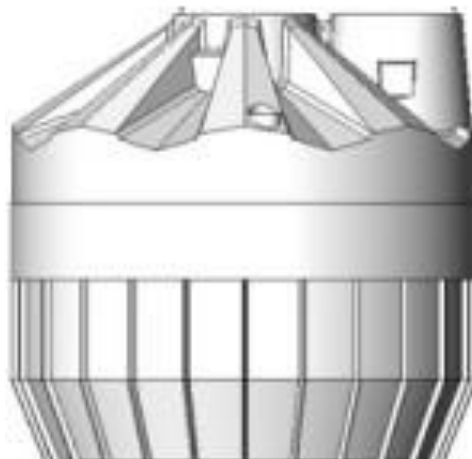
**Tabela 10 – Principais vantagens e desvantagens das unidades de tipo saco ou “tubo”**

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo;</li> <li>• Facilidade de instalação;</li> <li>• Digestor muito leve;</li> <li>• Facilidade de aquecimento</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa pressão do gás;</li> <li>• Curta vida útil;</li> <li>• Suscetível a danos mecânicos;</li> </ul>

#### **2.8.4. Unidades de digestão anaeróbia pré-fabricadas**

Os digestores pré-fabricados continuam atualmente a ser desenvolvidos, testados, e amplamente aplicados nos países em desenvolvimento, de forma a compensar as desvantagens que alguns modelos tradicionais apresentam. Este tipo de digestores derivaram das unidades tradicionais, no entanto podem ser fabricados e produzidos com

diferentes materiais, tamanhos e modelos [24]. Um biodigestor pré-fabricado é, normalmente, de plástico e transportado para o local como unidade única e completa de fácil instalação (Figura 10). Uma das vantagens destes biodigestores é a de poderem ser testados, relativamente à pressão de trabalho, em fábrica, identificando-se desta forma potenciais fugas. Quando corretamente instalados, estes elementos têm uma vida útil longa.



**Figura 10 – Exemplo de uma unidade pré-fabricada**

Na Tabela 11 sintetizam-se as principais vantagens e desvantagens deste tipo de unidades de digestão anaeróbia.

**Tabela 11 – Vantagens e desvantagens das unidades pré-fabricadas**

<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podem ser testados relativamente à pressão em fábrica, identificando-se desta forma potenciais fugas;</li> <li>• Quando corretamente instalados, estes elementos têm uma vida útil longa;</li> <li>• Instalação simples, com reduzida necessidade de materiais de construção;</li> <li>• Baixas exigências de manutenção;</li> <li>• O solo comporta-se como isolante térmico, pelo que através destes modelos é possível manter a temperatura necessária á digestão anaeróbia;</li> <li>• São especialmente adequados em zonas rurais, onde existem poucos recursos e conhecimentos técnicos;</li> <li>• Grande variedade de modelos e tamanhos.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• São relativamente caros;</li> <li>• Dificuldade em reparar ruturas no caso de incorreta instalação;</li> <li>• O armazenamento de gás pode ser limitado face aos objetivos previstos;</li> </ul>



## 3. Caso de Estudo

O projeto no qual se insere este trabalho “Bioenergia em São Tomé e Príncipe: Aproveitamento energético de biogás”, tem como objetivo principal a instalação de biodigestores anaeróbios, capazes de ser operados pelas comunidades locais e, deste modo proporcionar condições para uma gestão ambientalmente adequada dos biorresíduos produzidos pelas famílias, associando também a possibilidade de produzir um combustível alternativo aos usados habitualmente. Deste modo, a população responsável pela obtenção de combustível lenhoso fica com mais tempo disponível para outras atividades.

Para que estes utilizadores, desprovidos de qualquer tipo de formação nesta tecnologia, possam conduzir o processo de digestão anaeróbia de um modo seguro e com bons resultados, é necessário dotá-los da informação adequada, numa linguagem simples, clara e acessível. Por esse motivo, optou-se pela elaboração de dois manuais: o Manual de Construção e o Manual de Operação e Manutenção (O&M) do digestor.

### **3.1. A quem se destinam os manuais**

Estes manuais destinam-se a comunidades rurais, sem acesso à rede de energia e sem recolha de resíduos.

A seleção das comunidades a intervir neste projeto, decorreu através de um conjunto de

critérios identificados de seguida:

- Comunidades rurais de pequena dimensão, para otimizar os parâmetros de funcionamento da tecnologia piloto em São Tomé e Príncipe;
- Comunidades sem acesso a rede pública de energia e para as quais não se prevê a expansão da mesma, no médio/longo prazo;
- Comunidades em que as atividades produtivas principais são a pecuária e a agricultura, dado que os resíduos destas atividades são fundamentais enquanto matérias-primas para a produção de biogás;
- Comunidades isoladas e de acesso condicionado, onde a opção tecnológica proposta constitui uma solução de menor custo para efeitos de replicação local, face à expansão da rede de energia ou de recolha de resíduos.

### **3.2. Divulgação e motivação da população envolvida**

Para que o projeto se desenvolva tal como previsto, é necessário que os técnicos e comunidades que irão beneficiar do projeto estejam informados e familiarizados com o processo de digestão anaeróbia e com o modo de funcionamento das unidades, para isso são necessárias formações, visitas domésticas e campanhas de sensibilização. Estas atuações servirão para a identificação de conhecimentos pré-existentes, envolver a população no processo e para reforçar as competências dos diversos intervenientes.

O acompanhamento do funcionamento dos digestores anaeróbios é fundamental para a concretização de um dos objetivos principais: a demonstração da viabilidade da aplicação da tecnologia de digestão anaeróbia, e do interesse e vantagens que a introdução deste projeto tem, não só ao nível da melhoria da qualidade de vida, proporcionada pelo mais fácil acesso a energia, como pela melhoria das condições de salubridade das populações envolvidas.

### **3.3. Constituição dos Manuais**

A execução destes manuais pretende constituir as bases para a sustentabilidade dos sistemas de produção e utilização de energia, a longo prazo. Existe a necessidade da promoção de um maior conhecimento sobre esta tecnologia, especificamente a nível da operação e da manutenção, com a vista a transmitir às populações e técnicos a informação desenvolvida para a execução dos mesmos.

As propostas aqui sugeridas para o Manual de Construção e Manual de Operação e Manutenção (O&M), permitirão servir como base para os manuais finais, que serão introduzidos no projeto. Nesses manuais serão especificados pormenores mais detalhados e mais precisos de todos os processos e etapas envolvidas, pelos técnicos que acompanharam todo o projeto desde o seu início. Essa contribuição final é fundamental, pois a integração da informação adquirida através do conhecimento alcançado com o envolvimento no projeto irá completar e enriquecer os manuais finais.

### **3.3.1. Manual de construção**

O modelo apresentado faz referência à construção de um digestor, com volume de 6 m<sup>3</sup>, que se realizou numa comunidade rural em São Tomé e Príncipe, na qual se optou por uma solução combinada: digestor construído com materiais disponíveis localmente com cúpula pré-fabricada.

Uma solução combinada compreende a construção, em tijolo e argamassa, do tanque de retenção de resíduos, instalado junto com uma cúpula pré-fabricada em fibra de vidro. A cúpula de um digestor é muito difícil de construir, requerendo artesãos experientes. Assim, a principal vantagem de uma solução combinada reside na possibilidade do elemento crítico, a cúpula, ser testada em fábrica relativamente a fugas. Acresce que a facilidade de instalação possibilita a sua remoção caso se verifiquem fugas no biodigestor. A opção por uma cúpula em fibra de vidro é viável desde que, localmente se encontrem artesãos dispostos a produzi-las. Estes profissionais, para produção de cúpulas de qualidade, terão de ter um espaço com as condições necessárias à produção, bem como ser alvo de ações de treino e formação para moldagem local. Na Tabela 12 sintetizam-se as principais vantagens e desvantagens deste tipo de solução combinada tal como algumas características.

O manual proposto irá conter a descrição dos componentes de construção e respetivas funções, materiais, planeamento/preparação, construção dos vários componentes, instalação do sistema de tubagem e considerações de segurança.

**Tabela 12 – Características e vantagens/desvantagens de uma solução combinada (digestor construído com materiais disponíveis localmente com cúpula pré-fabricada)**

<b>Utilização</b>	Pequenas comunidades e meios agrícolas
<b>Tipo de alimentação</b>	Resíduos alimentares, dejetos de animais (Vaca, porco, galinha)
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● A base e a parede são facilmente construídas por construtores experientes;</li> <li>● A cúpula pode ser retirada caso exista a necessidade de reparações;</li> <li>● A unidade pode ser projetada dependendo das necessidades de cada local;</li> <li>● A estrutura pode ser subterrânea para um melhor controle da temperatura;</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Dificuldade em realizar uma conexão entre a cúpula e a estrutura que seja totalmente estanque;</li> <li>● A cúpula pode ser demasiado cara, dependendo do material, do design e do transporte;</li> <li>● O armazenamento de gás é limitado;</li> </ul>

### **3.3.2. Manual de Manutenção e Operação**

Este manual terá como objetivo ser uma ferramenta orientadora e de aprendizagem para a operação e manutenção dos biodigestores. Pretende dotar os responsáveis pela operação/manutenção dos biodigestores e os técnicos locais de um maior conhecimento sobre esta tecnologia. Uma estrutura devidamente construída e com matérias-primas disponíveis suficientes pode não produzir os resultados desejados devido a um funcionamento defeituoso e/ou manutenção pobre, o seguinte manual tem como objetivo prevenir a ocorrência de problemas, potenciar a produção de biogás e ainda aumentar o tempo de vida da unidade.

O manual proposto irá conter a descrição do processo de digestão anaeróbia de forma simples e clara para fácil compreensão, a descrição dos principais componentes de instalação, do modo de operação, da alimentação ao digestor, produção de biogás. O manual ainda deve conter informação alusiva ao surgimento de eventuais problemas, necessidades de manutenção periódica e identificação de peças de substituição.

### **3.4. Proposta de Manual de Construção**

#### **3.4.1. Introdução**

Este manual tem como principal objetivo orientar a futura construção de biodigestores com materiais locais, de fácil acesso e de baixo custo. Pretende dotar os interessados pela construção dos biodigestores de um maior conhecimento sobre esta tecnologia, essencialmente no que diz respeito aos procedimentos corretos para uma obra eficaz e de onde se possa retirar o máximo proveito no futuro.

#### **3.4.2. Componentes**

Os principais componentes que fazem parte do sistema de digestão anaeróbia são:

- Caixa de alimentação;
- Digestor;
- Cúpula;
- Caixa de saída.

#### **Função dos componentes**

- 1. Caixa de alimentação:** local onde são introduzidos os resíduos e a água;
- 2. Digestor:** unidade onde decorre o processo de transformação dos resíduos em biogás;
- 3. Cúpula pré-fabricada:** tem como função conter o gás;
- 4. Caixa de saída:** local para o qual o digerido se desloca e de onde é retirado;

#### **3.4.3. Materiais**

Os materiais apresentados na Tabela 13, foram utilizados no projeto, contudo, servem apenas como referência e estão disponíveis normalmente em lojas locais de materiais.

**Tabela 13 – Lista de matérias necessários para a construção do digestor**

Materiais		Quantidades	Características
Tubos		10 m	PVC Ø 110 mm
		50 m	Ø 16 mm
Mangueira		25 m	Borracha
Conectores		2 curvos 2 “T”	Para tubos PVC de Ø 110 mm
		2	Ø 16 mm
Tampas		1	Para tubos PVC Ø 110 mm
Válvulas		2	
Parafusos e pregos sortidos		–	–
Molde para blocos		1000 Blocos	25×10×12 cm
Impermeabilizante		–	–
Liga metálica		1	–
Argamassa a aplicar nas paredes da estrutura			
Cimento		≈ 320 kg	
Areia fina		≈ 1700 kg	
Betão a aplicar na base			
Cimento		≈ 1120 kg	–
Areia fina		≈ 4040 kg	–
Brita		≈ 3500 kg	–
Manómetro		1	–
Dessulfurizador		1	–
Kit de Ferramentas	Pá	2	–
	Picareta	1	–
	Picareta reta	1	–
	Faca	1	–
	Balde	2	10 L
	Corda	30 m	–
	Escada	1	–
EPI	Capacete	4	–
	Luvas	4	–
	Colete salva-vidas	4	–
	Óculos	2	–

#### 3.4.4. Visão geral do processo de construção

O processo de construção da unidade de digestão anaeróbia é simples. O procedimento de construção das estruturas é sempre igual, variando apenas nos dimensionamentos. No entanto, a parte mais difícil do processo é garantir uma unidade completamente impermeável. Uma unidade que apresente fugas, torna-se inútil para a produção de biogás.

Como em todos os projetos, é fundamental que se planeie e prepare tudo atempadamente, para que depois todo o processo ocorra sem interrupções e atrasos desnecessários.

### **Planeamento/Preparação**

Para que a construção ocorra conforme o idealizado, o planeamento das etapas de construção, a preparação do material e das pessoas envolvidas é fundamental. Um correto planeamento e preparação podem evitar a ocorrência de falhas e imprevistos.

Aspetos importantes no planeamento/preparação da construção da unidade:

1. Encomenda e compra do material com antecedência;
2. Conhecimento prévio de toda a logística envolvida na construção por parte dos envolvidos;
3. Em relação aos custos, existem alguns materiais que poderão ser substituídos por outros mais baratos, mas que possuam a mesma qualidade e durabilidade;
4. Evitar a construção durante a estação chuvosa.

### **Consideração do local**

A localização de uma unidade de produção de biogás é um fator fundamental para o seu sucesso. Para a escolha do local mais adequado, devem ser tomados em consideração os seguintes aspetos:

- A unidade de produção de biogás deverá localizar-se numa zona onde o nível do lençol freático seja baixo. O nível máximo de subida de água permitido é 1/2 da altura do digestor. Se o nível do lençol freático do local provisoriamente selecionado for muito alto, o melhor será a escolha de outro local;
- Deve estar localizado, tanto quanto possível, em declive ou a jusante em relação a um poço ou qualquer fonte de água. Idealmente a distância mínima entre uma unidade de produção de biogás e um poço deve ser 15 a 20 metros para evitar a contaminação da água em casos de fugas no digestor;
- Não deverá ser muito longe da habitação ou do ponto de utilização do gás, para reduzir o custo da tubagem, mas ao mesmo tempo, deve ficar o mais próximo possível da fonte de matérias-primas, como a pocilga. Isto também serve para poupar trabalho no transporte e, assim, garantir a produção normal de gás;
- Deve ser escolhido um local onde existam condições de solo e de fundação adequadas;

- Deve ser afastado de grandes raízes de árvores que possam danificar a estrutura.

### 3.4.5. Construção

A construção divide-se em várias fases, iniciando-se com a escavação, seguindo-se a construção da parte estrutural e do respetivo revestimento, sendo a partir daí possível a colocação do sistema de tubagem que possibilita então a realização de testes de fuga de água/gás. Conclui-se a construção com o aterro.

#### Escavação

Antes da escavação propriamente dita, é muito importante decidir onde o solo escavado será colocado. A maior parte desse solo irá depois ser utilizado para enchimento, de forma a evitar inundações perto do digestor. Deve haver espaço suficiente para a circulação de materiais para o poço escavado quando a construção começa. Para a construção de um digestor com volume de  $6 \text{ m}^3$ , as dimensões propostas para a abertura da vala são as seguintes referidas na Tabela 14.

**Tabela 14 – Dimensões da Escavação**

<b>Dimensionamento</b>	
<b>Base</b>	Comprimento: 3 m
	Largura: 3 m
<b>Altura</b>	2,4 m

Conclui-se assim que a escavação deverá ter um volume de aproximadamente  $18 \text{ m}^3$ .

#### Construção da base

O primeiro passo para a construção da base, que é circular, consiste na delimitação da mesma, considerado aproximadamente 2,5 m de diâmetro. Após este passo, procede-se a uma pequena escavação no seu interior, com uma altura de aproximadamente 10 cm. De seguida, é executada a fundação de suporte de toda a estrutura, que consiste na colocação da liga metálica e na aplicação de betão (Figura 11).



**Figura 11 – Fases iniciais da construção da base. Fonte: Projeto Bio&Energy**

O passo seguinte (Figura 12) consiste em:

- Primeiro dispor os blocos em redor da área delimitada;
- Preencher o interior com blocos;
- Finalizar a construção da base, com a aplicação de betão, uniformemente, por cima de toda a estrutura.



**Figura 12 – Fases finais da construção da base. Fonte: Projeto Bio&Energy**

### **Construção da parede**

A construção da parede é relativamente fácil e rápida. Resume-se basicamente à colocação de blocos assentes em argamassa. A argamassa é constituída por areia e cimento, e tem por finalidade ser um elo de ligação entre os blocos, de modo a permanecerem fixos e estáveis. Os blocos são colocados em redor da área previamente definida na construção da base, até à altura definida de aproximadamente 1,5 m (Figura 13).



**Figura 13 – Construção da parede. Fonte: Projeto Bio&Energy**

## **Cúpula**

Tal como referido anteriormente, optou-se por uma cúpula pré-fabricada, em fibra de vidro (Figura 14). É possível recorrer-se a esta técnica desde que, localmente se encontrem artesãos dispostos a produzi-las.



**Figura 14 – Exemplo de cúpula em fibra de vidro. Fonte: Projeto Bio&Energy**

A fibra de vidro é o resultado da aplicação de uma resina sobre finíssimos filamentos de vidro, que são altamente flexíveis. A resina é um líquido viscoso que se mistura com um diluente, ao qual se adiciona um catalisador e um acelerador. O diluente faz com que a resina atinja a viscosidade ideal, enquanto o catalisador faz com que as outras substâncias reajam quimicamente. O acelerador aumenta a velocidade da reação. Ao processo de aplicação, normalmente, dá-se o nome de laminação, que pode ser manual ou à pistola. Para a aplicação deste processo, é necessário um molde, que pode ser de gesso, madeira, fibra de vidro ou outros materiais. O molde terá que ter as dimensões da cúpula pretendida

(Tabela 15) e deve ser bem polido para que no fim seja possível retirar o molde com facilidade.

**Tabela 15 – Dimensões da cúpula**

Dimensionamento	
<b>Diâmetro</b>	2,5 m
<b>Altura</b>	1 m

De forma clara e sucinta descrevem-se, de seguida, as fases fundamentais para a execução de uma cúpula em fibra de vidro (Figura 15):



**Figura 15 – Unidade de digestão anaeróbia com cúpula fabricada em fibra de vidro. Fonte: Projeto Bio&Energy**

1. Preparar a resina;
2. Colocar por todo o molde um produto que facilite a desmoldagem;
3. Aplicar a resina;
4. Aplicar a primeira camada de fibra;
5. Repetir as aplicações de resina e de fibra até à obtenção da espessura necessária;
6. Terminar com uma última camada de resina cobrindo toda a área;
7. Deixar secar;
8. Retirar o molde com cuidado;
9. Fazer o acabamento;

## Caixa de Entrada/Alimentação

O primeiro passo para a construção da caixa de entrada, é conhecer de antemão a exata localização da mesma e o seu dimensionamento (Tabela 16).

**Tabela 16 – Dimensões da caixa de alimentação**

Dimensionamento	
Comprimento	0,50 m
Largura	0,50 m
Altura	2,5 m

A sua construção, tal como a da parede, consiste na colocação de blocos assentes em argamassa, dispostos de acordo com o dimensionamento mencionado anteriormente (Figura 16).



**Figura 16 – Caixa de entrada. Fonte: Projeto Bio&Energy**

## Caixa de Saída

A caixa de saída na prática é dividida em duas estruturas distintas, a caixa de saída propriamente dita e a caixa de separação, que separa a fração líquida da sólida. As duas caixas são interligadas por um tubo (Figura 17). Tal como acontece com a caixa de entrada, também é importante saber antecipadamente a localização exata e correspondente dimensionamento da caixa de saída e da caixa de separação. O método de construção é em tudo semelhante ao da caixa de entrada.



**Figura 17 – Caixa de saída (1) e caixa de separação (2). Fonte: Projeto Bio&Energy**

Na Tabela 17 e Tabela 18 apresentam-se os dimensionamentos de ambas as caixas.

**Tabela 17 – Dimensões da caixa de saída**

Dimensionamento	
Comprimento	0,50 m
Largura	0,50 m
Altura	2,5 m

**Tabela 18 – Dimensões da caixa de separação**

Dimensionamento	
Comprimento	1,5 m
Largura	0,5 m
Altura	0,90 m

### **Revestimento do digestor**

Este processo consiste em garantir uma maior impermeabilização de toda a estrutura, recorrendo a um impermeabilizante (*Sikafloor*). Este procedimento só deve ser realizado após o período de cura do betão, ou seja, quando este estiver completamente seco. O processo baseia-se essencialmente em inspecionar o interior das estruturas e aplicar este impermeabilizante de forma a garantir uma maior impermeabilização/selagem.

## Sistema de tubagem

### *Informação geral*

Todo o biogás produzido pela unidade deve passar através de um dessulfurizador (fornecido na caixa de acessórios).

O biogás contém sempre uma certa quantidade de vapor de água que se condensa quando o gás arrefece dentro dos tubos de gás. Portanto, é imperativo para garantir que a água condensada não fique presa dentro dos tubos, bloqueando o fluxo de gás.

Os tubos de gás devem ser colocados com uma inclinação ascendente contínua do digestor para o ponto de utilização de gás e não deve haver nenhuma depressão dentro do tubo que permita acumular água.

### *Instalação: Equipamentos e acessórios*

Os seguintes equipamentos e acessórios são instalados conjuntamente com o sistema de tubagem (Figura 18), para cada um deve-se ter em atenção [25]:

- **Medidor de Pressão (Manómetro):** deve ser instalado no ponto de utilização do biogás, acima do fogão;
- **Dessulfurizador:** tal como o manómetro, deve ser instalado perto do ponto de utilização;
- **Conector em “T” e Válvula de teste:** servem para conectarem a saída de gás dentro do digestor ao tubo de subida do biogás.
- **Sinal “Inflamável”:** por razões de segurança, este sinal deve ser instalado junto do ponto de utilização do biogás.

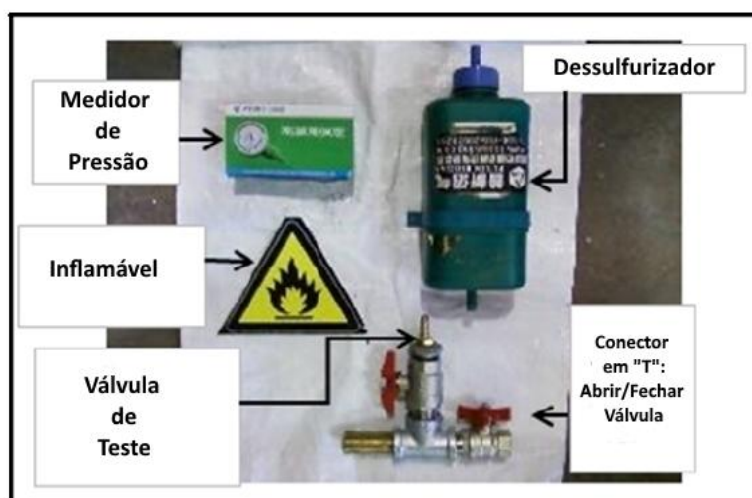


Figura 18 – Equipamentos e acessórios [25]

### ***Instalação: Parte subterrânea***

Para a execução da instalação da parte da tubagem que depois irá ficar aterrada, estão de seguida descritos os aspetos fundamentais [25]:

1. A escavação deve ser realizada longe de raízes de árvores;
2. Por norma a profundidade de escavação deve ser de pelo menos 500 mm (é a profundidade mínima especificada para a tubagem de gás). As condutas que são executadas em áreas de tráfego de veículos, devem ser cercadas em betão ou então instaladas a uma profundidade mínima de 800 mm e protegidas com um aterro bem compactado;
3. As escavações devem ser realizadas pouco tempo antes da instalação dos tubos, para evitar que o material escavado caia na vala;
4. A tubagem subterrânea pode ser em aço inoxidável, aço galvanizado ou aço reforçado com tubos HDPE (Polietileno de alta densidade). Deverá estar a uma distância máxima de 70 m da unidade, dado que, distâncias maiores que esta, proporcionam uma queda de pressão de cerca de 5% de gás nominal no digestor;
5. Quando se utilizam tubos de aço rígidos, a base da vala deverá estar alinhada com uma pequena pedra nivelada de (10 mm) na base dos tubos. Quando se utiliza uma tubagem com tubos HDPE, deve ser colocada uma fundação de betão, plana e nivelada para que o tubo possa ser colocado numa superfície uniforme – nenhuma depressão deve ocorrer no tubo;
6. O material de aterro deve ter uma granulometria uniforme, sem materiais afiados que possam danificar a unidade;
7. As conexões devem ser isoladas com fita ou gordura, de forma a prevenir fugas bem como a corrosão;
8. Para evitar restrições no fluxo de gás, o número de acessórios e conexões para os tubos deve ser reduzido ao máximo. No caso de curvas de 90°, estas devem ser dadas em duas curvas de 45° e numa distância mínima de 500 mm para evitar mudanças bruscas de direção.

### ***Instalação: Armadilhas de água***

Devido a mudanças de temperatura, a humidade pode formar água de condensação no sistema de tubagem. Idealmente, o sistema de tubagem deveria ser definido de modo a que permitisse um fluxo livre de água de condensação no digestor. Se existirem depressões no

sistema de tubagem, um ou vários separadores de água devem ser instalados no ponto mais baixo da depressão.

Existem dois tipos de armadilha: automática ou manual. As armadilhas automáticas têm a vantagem de não necessitarem de esvaziamento, no entanto, se estiverem vazias, podem causar fugas de gás. As armadilhas manuais são mais simples e fáceis de compreender, mas se não forem esvaziadas regularmente, a água de condensação acumulada acabará por bloquear o sistema de tubagem. Ambos os tipos de armadilhas têm que ser instaladas num local sólido e cobertas por uma tampa para evitar um eventual enchimento por cima do solo [25].

A Figura 19 representa as configurações de uma armadilha de água automática e manual.

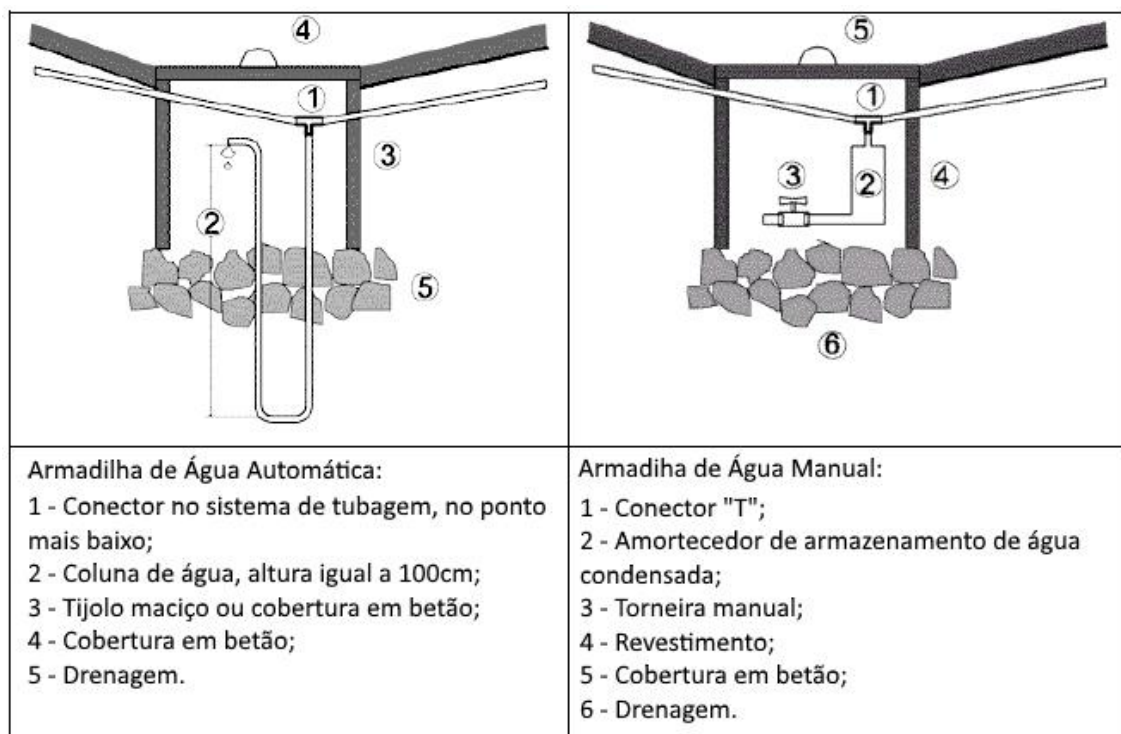


Figura 19 – Armadilhas de água: automática e manual [25]

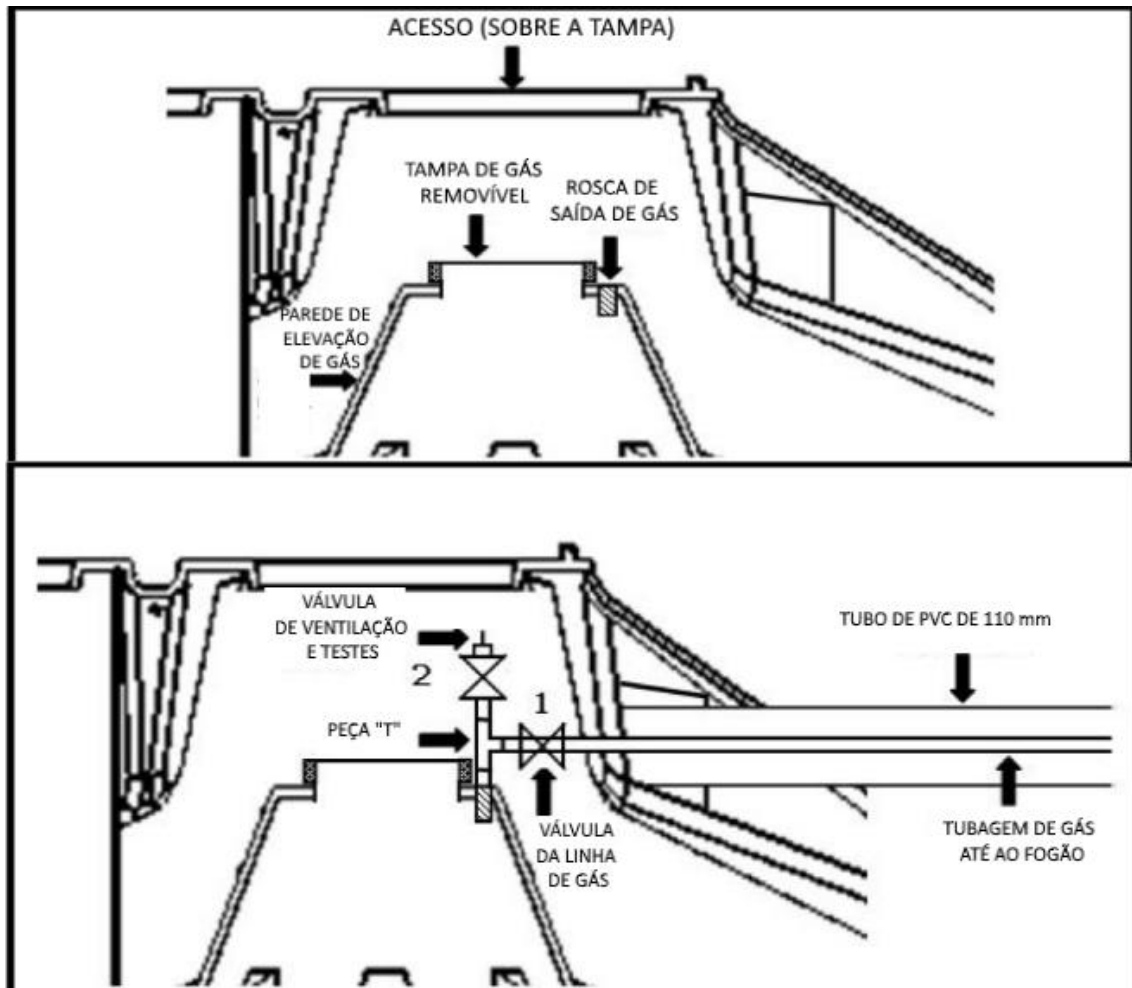
### ***Instalação: do digestor até ao fogão***

1. Deve ser instalado um de tubo HDPE de  $\varnothing$  16 mm a partir do tubo principal de distribuição (tubagem subterrânea) na proximidade do fogão;
2. A tubagem de  $\varnothing$  16 mm deve estar firmemente fixada à parede, tanto no interior como no exterior do ponto de utilização;

3. Deve ser conectado um tubo de mangueira flexível entre o tubo de  $\varnothing$  16 mm e o fogão (o comprimento do tubo flexível deve ser inferior a 1,5 m).

**Instalação: Configuração da tubagem de gás dentro e fora do digestor**

As duas válvulas de aço (válvula de ventilação e válvula de linha de gás), devem ser montadas e fixadas à saída da cúpula, no qual é roscado uma rosca fêmea na parte superior do tubo ascendente de gás. Do lado de fora do digestor é necessário perfurar um furo de  $\varnothing$  110 mm, para a saída do tubo de PVC (Figura 20).



**Figura 20 – Configuração da saída e entrada de gás (em cima) e pontos de conexão (em baixo)**

[25]

É necessário colocar uma manga de isolamento de PVC de comprimento 500 mm e  $\varnothing$  110 mm, através da parede do interior do digestor (a manga está posicionada para permitir uma maior flexibilidade do movimento do tubo de gás, causada pela mudança de pressão interna).

De seguida, instala-se o tubo de gás externo conectando-o ao tubo interno. Por fim, aplica-se uma cobertura anticorrosiva (revestimento pintado, fita de betume) a todos os componentes de aço pertencentes à configuração das tubagens.

### ***Instalação da tubagem: Conclusão***

Para finalizar é necessário testar a pressão do sistema. A pressão só pode ser testada para o valor máximo de 6,75 kPa e somente quando a unidade for preenchida totalmente com água. O valor referido é alcançado por bombeamento de ar através da válvula de ventilação (com a válvula da linha de gás fechada). Quando se atinge os 6,75 kPa dentro do digestor, aproximadamente 0,95 m<sup>3</sup> de água (o volume de armazenamento de gás) é deslocado.

### ***Instalação: Fogão***

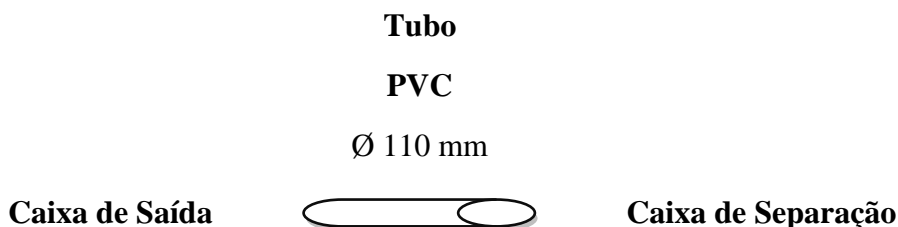
1. O fogão deve ser instalado numa base firme e nivelada. O suporte para o aparelho deve ser grande o suficiente para evitar que o aparelho deslize para fora do suporte;
2. Os tubos flexíveis devem ser pequenos (não mais do que 1,5 m). Não deve haver nenhuma pressão indevida sobre os tubos e estes devem ser mantidos abaixo do nível do fogão;
3. O tubo flexível só deve fornecer um fogão, ou seja, não deve haver conexões para outro aparelho ao longo do seu comprimento;
4. O acesso para fechar as válvulas deve ser acessível.



**Figura 21 – Exemplo de fogão adaptado para utilização de biogás [26]**

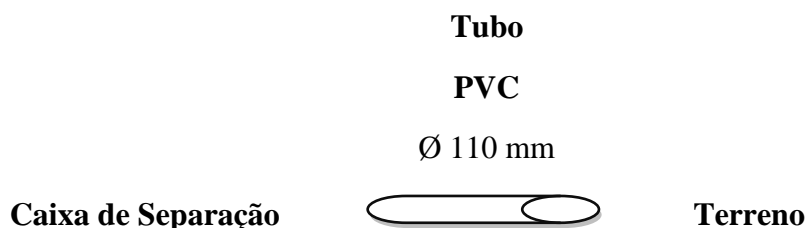
### **Instalação: Resumo**

O primeiro tubo a ser instalado é o tubo da caixa de saída, este é o tubo que transporta o digerido para a caixa de separação (Figura 22).



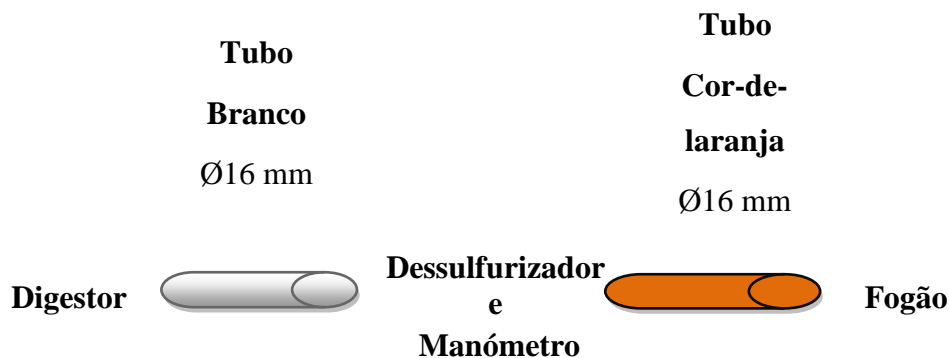
**Figura 22 – Esquemática do tipo de tubo desde a caixa de saída até à caixa de separação**

Igualmente deverá ser instalado na caixa de separação, um tubo com as mesmas dimensões, para que a fração líquida possa escoar livremente para o terreno envolvente (Figura 23).



**Figura 23 – Esquemática do tipo de tubo desde a caixa de separação até ao terreno**

A instalação da tubagem de gás, é constituída sempre pelos mesmos tipos de tubos (Ø 16 mm). No esquema da Figura 24, é possível ver a sequência dos tubos e correspondentes cores utilizadas no projeto. Embora a opção por cores diferentes não seja obrigatória, esta torna-se mais vantajosa para diferenciar os mesmos.



**Figura 24 – Esquemática da cor dos tubos desde o digestor até ao dessulfurizador e manómetro finalizando no fogão**

## **Testes de fuga de água/gás**

Após salvaguardada a estanqueidade do digestor, este pode finalmente ser testado. Existem vários testes que podem ser realizados, um muito simples consiste em preencher metade do digestor com água e medir o nível de água ao longo de vários dias. Se o nível de água diminuir, existe uma fuga no digestor. No caso de se detetar alguma fuga, é aconselhável fazer uma verificação completa do digestor para a deteção de possíveis defeitos.

## **Aterro**

Esta etapa é relativamente simples, no entanto é necessário alguns cuidados em certas zonas para evitar a sobrecarga da unidade em certos pontos. Resume-se a utilizar o solo retirado durante a escavação, para aterrar toda a estrutura, de modo a que esta fique totalmente soterrada e impercetível.

### **3.4.6. Considerações de segurança**

Na construção, na operação e na manutenção de uma unidade de digestão anaeróbia, devem ser acautelados diversos aspetos de segurança, com o intuito de se evitarem potenciais riscos para pessoas, animais e ambiente. Como em todas as operações que envolvem a utilização de gás, é necessário assegurar um conjunto de procedimentos de segurança, tais como:

- O digestor deve ser instalado num local bem arejado, para evitar maus cheiros quando estiver a ser alimentado;
- Periodicamente deve-se verificar o estado geral da instalação (inspeção visual);
- Na altura de carregar ou limpar o digestor deve-se ter muito cuidado, pois o gás produzido é inflamável;
- Antes da limpeza, deve-se confirmar que já não se está a produzir biogás, a fim de evitar acidentes.

Na imagem da Figura 25, estão representados alguns sinais de alerta, que devem ser colocados perto da unidade, de forma a alertar técnicos e pessoas envolvidas da existência de perigos inerentes a algumas práticas, tais como:

- Proibição de fumar;
- Proibição de fazer lume;
- Proibição de comer e beber;

- Proibição do manuseamento a pessoas que não sejam detentoras dos conhecimentos sobre o funcionamento da unidade.



Figura 25 – Sinais de proibição

### 3.5. Proposta de Manual de Operação e Manutenção

#### 3.5.1. Introdução

Este manual pretende constituir as bases para a sustentabilidade das unidades instaladas. Existe a necessidade de promoção de um maior conhecimento sobre esta tecnologia, especificamente a nível da operação e da manutenção, com a vista a transmitir às populações e técnicos a informação necessária para a operação das mesmas.

#### 3.5.2. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico de tratamento de resíduos onde ocorre a decomposição de resíduos orgânicos biodegradáveis através de microrganismos que atuam na ausência de oxigénio ( $O_2$ ), produzindo compostos simples como o metano ( $CH_4$ ) e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Deste processo resultam dois produtos: o biogás e o digerido.

#### 3.5.3. Produtos resultantes da digestão anaeróbia

##### ❖ Biogás

O biogás é composto pelos seguintes elementos:

- 60 - 70% de metano ( $CH_4$ );
- 30 - 40% de dióxido de carbono ( $CO_2$ );
- Menos de 1% de sulfureto de hidrogénio ( $H_2S$ );
- Quantidades vestigiais de elementos como o azoto, o hidrogénio, o oxigénio.

A produção de biogás passível de ser atingida varia de acordo com a corrente de alimentação e com a temperatura. Assim, e dado que não está prevista a inclusão de

sistemas de aquecimento adicionais é expectável uma variação da quantidade do biogás produzido nos meses de verão e inverno. A produção de biogás pode variar entre 1 e 2 m<sup>3</sup>/dia.

O biogás produzido será aproveitado diretamente para cozinhar (Figura 26) pois dada a quantidade produzida é economicamente inviável a produção de eletricidade.



**Figura 26 – Exemplo da utilização de biogás em fogões adaptados**

A utilização do biogás como uma fonte eficiente de energia depende significativamente da sua concentração em metano. Este gás apresenta propriedades semelhantes ao gás natural, não apresenta cheiro e é altamente inflamável. Comparado com os combustíveis fósseis, a combustão do e não gera enxofre nem dióxidos de enxofre.

#### ❖ **Digerido**

Diversos estudos evidenciam o benefício de usar o digerido como uma alternativa aos fertilizantes químicos, favorecendo as condições do solo e o crescimento das plantas (Figura 27). À semelhança do biogás, a qualidade da fração digerida é diretamente proporcional à qualidade da matéria que é alimentada ao digester.



**Figura 27 – Exemplo de utilização do digerido como biofertilizante [27]**

### 3.5.4. Fatores que condicionam a digestão anaeróbia

#### Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes no processo de digestão anaeróbia, dado que interfere na velocidade de crescimento dos microrganismos. Existem várias gamas de temperatura adequadas à digestão anaeróbia (Figura 28), nas quais prevalecem diferentes populações microbianas.

É muito importante que, qualquer que seja a temperatura escolhida para o processo, esta se mantenha constante. Pequenas variações de apenas alguns graus, podem perturbar o metabolismo dos microrganismos afetando o equilíbrio do sistema.

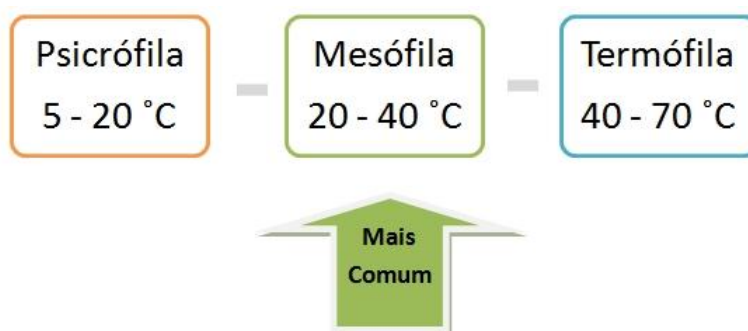


Figura 28 – Gama de temperaturas do processo

#### pH

Para que a digestão anaeróbia ocorra com sucesso, o pH deve estar compreendido entre 6,8 e 7,5. Esta análise de valores é muito importante, pois é um parâmetro fundamental para o controlo dos sistemas.

É através dos substratos utilizados, que é possível controlar/equilibrar o pH do processo. A Tabela 19 apresenta eventuais indicadores de instabilidade de pH e respetivas soluções.

Tabela 19 – Indicadores de pH

pH	Indicadores	Solução	Composição do biogás
Baixo	A produção de biogás é baixa	Adicionar: lima ou limão e cinza;	Alto teor em dióxido de carbono e sulfureto de hidrogeno e baixo em metano
	O gás não queima		
	Lama mal digerida		
Bom	Está tudo bem;	Manter tudo igual;	Alto teor de metano;
Alto	Esta situação é rara;	Esperar;	Alto teor de metano, os outros gases são raros;

## Nutrientes

O resíduo a processar por digestão anaeróbia, deve conter essencialmente: Carbono (C), Azoto (N) e Fósforo (P). São estes os nutrientes mais relevantes no processo (Figura 29).



Figura 29 – Nutrientes necessários para um crescimento ótimo

## Presença de compostos tóxicos

Alguns compostos são tóxicos para os microrganismos intervenientes no processo de digestão anaeróbia, mesmo se presentes apenas em quantidades vestigiais. Nesses casos, pode ocorrer o colapso do sistema, sendo necessário proceder-se à limpeza e rearranque dos digestores.

### 3.5.5. Instalação

#### Principais componentes de instalação

- **Caixa de entrada:** local onde são introduzidos os resíduos e a água;
- **Digestor:** unidade onde decorre o processo de transformação dos resíduos em biogás;
- **Caixa de saída: local** para o qual o digerido se desloca e de onde é retirado;
- **Manómetro:** instrumento utilizado para medir a pressão do gás;
- **Dessulfurizador:** necessário para reduzir a quantidade de dióxido de enxofre no ar;
- **Tubagem:** tubos que transportam o biogás do digestor até ao fogão;
- **Válvulas:** servem como elemento de controlo da utilização do biogás;
- **Fogões:** fogões adaptados para receberem o biogás proveniente do digestor;

### 3.5.6. Operação

Previamente, as pessoas responsáveis pela operação da unidade, devem compreender todo o seu funcionamento, de modo a estarem aptas a iniciar o seu arranque. A operação

consiste em alimentar o digestor diariamente para que este produza biogás para posterior utilização.

Para um maior rigor, e de forma a garantir um registo de todas as intervenções realizadas na unidade, foi realizado um formulário de registo e operação (**Anexo A**), para cada uma das comunidades. Este formulário foi realizado com base nas quantidades (Tabela 20) que devem ser colocadas por dia na unidade, a pressão e condições atmosféricas.

### **Alimentação do digestor**

Quanto maior for a percentagem de materiais biodegradáveis, maior será a quantidade de substrato para os microrganismos responsáveis pela biodegradação do resíduo, aumentando a taxa de produção de gases, ou seja, de biogás.

Para o correto funcionamento do digestor, e para um melhor aproveitamento do mesmo, é necessário compreender aquilo que é ou não recomendável introduzir no digestor, tal como indicado na Tabela 21 e na Tabela 22. É muito importante alimentar o sistema apenas com a capacidade de carga concebida. Isto irá garantir a produção de gás ideal. O ideal será uma mistura da combinação dos limites de carga máximos (Tabela 23) prescritos para compensar a carga diária. Por exemplo, deve-se misturar apenas metade de resíduos alimentares (17,5 kg) com metade do estrume de vaca (25 kg), dos valores recomendados, por dia.

Tabela 20 – Substratos recomendáveis para alimentação do digestor [27]

Recomendável	
<b>Chorume</b>	Estrume de vaca, de galinha e de porco. Rico em bactérias é uma matéria-prima altamente adequada. O estrume deve ser alimentado enquanto está fresco e deve-se evitar o chorume que está contaminado com areia, pedras ou palha.
<b>Restos de Cozinha</b>	Os restos de cozinha (resíduos vegetais) são ricos em energia. Devem ser triturados, tanto quanto possível, para promover uma digestão rápida (isto é, aumentar a área de contacto com as bactérias).
<b>Resíduos de Jardim</b>	A fração resultante do corte da relva e outros resíduos não lenhosos de jardim podem ser utilizados e têm um alto teor de energia e potencial de produção de biogás. As aparas de relva devem ser pré-digeridas, se possível.
<b>Dejetos humanos</b>	Os esgotos de autoclismos normalmente tem alta quantidade de água e baixo teor de sólidos, é portanto, uma matéria-prima de baixo rendimento.
<b>Resíduos agrícolas e Culturas Energéticas</b>	As culturas energéticas e resíduos agrícolas podem ser resíduos de alto rendimento para um digestor. Devem, para o efeito, respeitar-se os limites de carga orgânica definidos para cada processo e, a matéria-prima deve ser preferencialmente triturada para partículas de dimensão <2,5 mm.

Tabela 21 – Substratos não recomendáveis para alimentação do digestor [27]

Não Recomendável	
<b>Compostos Químicos</b>	Produtos de limpeza, ácidos, herbicidas, tintas, diluentes, óleo e outros produtos químicos não biodegradáveis. Estes produtos químicos podem matar as bactérias anaeróbias.
<b>Materiais Orgânicos</b>	Areia, madeira, galhos, folhas com elevados teores de lenhina, serradura, penas e ossos. Estes compostos provavelmente vão acumular-se no sistema, reduzindo a sua capacidade e/ou causando bloqueios e falhas no sistema.
<b>Materiais Inorgânicos</b>	Plástico, vidro, absorventes higiénicos, fraldas e cigarros. Estes materiais e outros resíduos inorgânicos irão bloquear o sistema e potencialmente causar a falha deste.

Tabela 22 – Quantidades máximas recomendáveis [25]

Matéria-prima	Quantidade diária de alimentação máxima (kg/dia)
Estrume de vaca	50
Restos de comida	35
Silagem de erva	25

O estrume deve ser misturado com água para criar uma pasta consistente. A mistura ajuda a que todas as partículas do chorume sejam acessíveis para as bactérias. Pedacos secos de estrume (que, muitas vezes, flutuam) não são acessíveis para os microrganismos intervenientes no processo e irão bloquear o sistema.

O desempenho é melhor com uma gama mais diversificada de matérias-primas, por exemplo, uma mistura de chorume com restos de cozinha.

Idealmente, deve ser carregada diariamente a mesma/semelhante mistura de matéria-prima. Alterar a matéria-prima de forma abrupta pode causar um "choque" fazendo com que a produção e o desempenho diminuam.

### **Produção de biogás**

Seguidamente, após concluída a construção/instalação da unidade e para que se possa iniciar a alimentação, é necessário primeiro, encher totalmente o digestor com água. A introdução da alimentação de arranque vai fazer com que o excesso de água saia pelo tubo de saída, devido à pressão exercida. A água faz com que a ausência de oxigénio ( $O_2$ ) no digestor seja total, o que proporciona as condições ideais para a produção de biogás. Após a introdução da alimentação de arranque, é necessário aguardar cerca de 15 dias (2 semanas) até que se inicie a produção de biogás. Cada vez que o gás é libertado, deverá ser realizado um teste de chama, que consiste em verificar a inflamabilidade do gás eliminado.

Numa 1ª fase, a concentração de metano ( $CH_4$ ) no biogás é muito baixa, devido aos diversos mecanismos de reação envolvidas na digestão anaeróbia. Em primeiro lugar forma-se dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e hidrogénio ( $H_2$ ), só depois é que estes são convertidos a  $CH_4$ . Quando a concentração de  $CH_4$  é baixa, o poder calorífico desse "biogás" é menor, pelo que, queimar um mesmo volume de gás liberta menos calor, o que implica que a temperatura não suba tanto e então, a chama tem cor alaranjada (Figura 30). Se a temperatura de queima for baixa, ocorre combustão incompleta, pois não há energia suficiente para que, apesar de se estar a alimentar ar em quantidade suficiente, a reação de oxidação seja completa. No entanto, à medida que a combustão se vai dando, a temperatura sobe o que faz com que a chama fique mais azulada (Figura 30), tal como pretendido.



**Figura 30 – Exemplo de chama alaranjada e chama azul**

Outra característica muito importante na produção de biogás, é o odor libertado. No início do processo, o gás libertado apresenta um forte odor característico de chorume, ao contrário do gás libertado no final do processo, que apresenta um odor característico de fermentação, indicando a ação dos microrganismos no interior do digestor.

### **Problemas mais comuns**

- Quando é que existe um problema?

Não existe uma resposta para esta questão. Os problemas surgem de diferentes maneiras, não se pode prever quando irão aparecer. Contudo, eventuais alterações na unidade podem ser um indicativo de possíveis problemas. São exemplo de alguns problemas frequentes de uma unidade de digestão anaeróbia:

- **Camada de material flutuante:** A camada de material flutuante, como o próprio nome indica, é uma camada que se pode formar na parte superior do líquido do digestor, devido à acumulação de material com baixa densidade. Esta camada pode possuir uma espessura suficiente podendo levar à ocorrência de bloqueios de tubagens e impedir a saída do biogás. Esta camada forma-se devido à entrada de materiais menos densos como a gordura animal e palha, que ficam a flutuar na parte superior do líquido do digestor. Com o intuito de evitar que esta camada se forme pode-se atuar ao nível do digestor, através da colocação de um sistema de agitação e mistura do mesmo, o que nem sempre é o mais eficaz na prevenção da formação desta camada, dado que um correto pré-tratamento dos resíduos através de trituração e de mistura, representa a solução mais eficaz para se evitar a formação da camada de material flutuante;
- **Camada de espuma:** A formação de uma camada de espuma na parte superior do líquido do digestor constitui um problema muito frequente em diversos digestores anaeróbios. Quando esta camada de espuma atinge uma altura suficiente, pode

bloquear as saídas de biogás do digestor anaeróbio. A camada de espuma pode se formar devido a diversas causas não existindo, desta forma, uma solução única para este problema. Misturar a parte superior do líquido do digestor anaeróbio, pulverizar água na parte superior do líquido do digerido e alterar a composição dos resíduos que dão entrada no digestor anaeróbio, são algumas das soluções que podem ser aplicadas para prevenir ou eliminar a camada de espuma de um digestor anaeróbio;

- **Camada de sedimentos:** A camada de sedimentos forma-se, na parte inferior de um digestor anaeróbio, devido à acumulação de materiais inertes e densos, que não flutuam, como areia, pedras, metais e vidro, entre outros. Para evitar que a camada de sedimentos se forme num digestor anaeróbio, tem de ser efetuado um correto processo de triagem dos resíduos, com o intuito de se garantir que os materiais descritos anteriormente não estão presentes nos resíduos que dão entrada no digestor;
- **Entupimentos/fugas:** Os entupimentos ou bloqueios dos equipamentos podem ocorrer nas tubagens de devido à camada de material flutuante e à camada de espuma, pelo que todas as medidas descritas anteriormente devem ser aplicadas com o intuito de se evitar este problema. As fugas podem ocorrer devido a defeitos e a corrosão nos materiais e ao incorreto funcionamento de válvulas e das ligações das tubagens. Caso a unidade de digestão anaeróbia disponha de uma manutenção apropriada, os riscos de fugas podem ser evitados.

Na Tabelas 24 a 28, estão esquematizados alguns dos problemas mais comuns, tal como as respetivas causas e soluções possíveis.

Tabela 23 – Possíveis soluções para problemas no arranque do sistema

Problema	Causas Possíveis	Soluções
<b>Arranque do Sistema</b>		
A pressão não sobe;	Presença de poucos microrganismos;	É necessário aguardar; Introduzir mistura de arranque; Mexer/misturar os componentes;
	Fugas no digestor ou na conduta de gás;	Localizar a fuga e reparar;
O primeiro gás produzido não queima;	Ainda existe ar nos tubos;	O gás deve ser libertado. Não queima porque contem o ar inicial na área de armazenamento de gás; O ar deve ser libertado até que se sinta o cheiro a gás;
	Alimentação de lama fresca enquanto a pressão do gás não sobe;	Este é um problema comum. Nenhuma lama deve ser colocada até ao terceiro dia após a produção de gás;
A pressão do gás aumenta muito lentamente;	A temperatura está muito baixa;	Isto é normal, a produção de gás é menor no tempo mais frio;
	Uma espuma grossa acumula-se no digestor;	Mexer/misturar duas vezes por dia;
		Se for um caso grave será necessário remover a espuma manualmente através do poço;
	Muita alimentação ou pouca alimentação;	Deve ser colocada a quantidade correta diariamente;
	Colocação de substâncias tóxicas no digestor;	As substâncias tóxicas podem ter matado as bactérias e isso parou a produção de gás;
		Se no prazo de 3 semanas não houver produção de gás e se observar um mau odor, é necessário limpar o digestor e voltar a abastecer,
Fugas de gás;	Localizar a fuga e reparar;	
A consistência da lama está muito fina ou muito grossa.	Corrigir a consistência das misturas de entrada.	

Tabela 24 – Possíveis soluções em problemas relacionados com os fogões

Problema	Causas Possíveis	Soluções
<b>Fogões</b>		
O gás não queima;	Ar na tubagem;	Libertar o ar até se obter o cheiro característico de biogás;
	Tipo errado de gás (provavelmente CO <sub>2</sub> );	Aguardar o tempo correto para o gás ser produzido;
As chamas são compridas e fracas e não permanecem acesas;	Fornecimento de ar incorreto;	Colocar a panela no fogão e ajustar a mistura de ar/combustível no fogão;
	Pressão excessiva de gás;	Ajustar e reduzir a pressão na válvula do fogão;
Chama pequena;	Pressão de gás insuficiente;	Alguns tubos de plástico flexível poderão ficar achatados em certos lugares. Será necessário localizar e reparar;
	Linha de gás bloqueada com matéria estranha;	Localizar o bloqueio e remover o material;
Não há gás no fogão;	Válvula de gás principal fechada;	Abrir a válvula;
	Bloqueio da linha de gás devido à concentração de água;	Verificar a origem do bloqueio e consertar;
	Acumulação no “bico” do fogão bloqueado;	Desentupir/limpar;

Tabela 25 – Possíveis soluções em problemas relacionados com a chama

Problema	Causas Possíveis	Soluções
<b>Chama</b>		
A luz é pobre;	O regulador de pressão/combustível precisa de um ajustamento;	Ajustar em conformidade;
	Pressão é muito baixa.	Verificar o valor da pressão no manómetro;

Tabela 26 – Possíveis soluções em problemas de entrada e saída de resíduos/lama

Problema	Causas Possíveis	Soluções
<b>Entrada/Saída de Resíduo/Lama</b>		
Os resíduos não entram corretamente para dentro do digestor;	Tubo de entrada bloqueado;	Limpar o interior do tubo, introduzindo uma barra, movendo-a de cima para baixo, até o tubo ficar limpo;
O nível de lama na saída é muito alto;	Muita lama no digestor;	Remover a lama na saída, e manter o nível correto de lamas;
Pressão excessivamente alta, mas baixo nível de efluentes na câmara de saída;	Tubo de saída bloqueado;	Limpar o interior do tubo, introduzindo uma barra, movendo-a de cima para baixo, até o tubo ficar limpo;
	Lama muito espessa;	Ajustar a consistência da lama;

Tabela 27 – Possíveis soluções para problemas relacionados com o manómetro

Problema	Causas Possíveis	Soluções
<b>Manómetro</b>		
A pressão no manómetro é alta, mas quando se abre a válvula a pressão cai imediatamente. Fechando a válvula a pressão volta a subir. A chama é fraca;	Bloqueios na saída de gás ou na linha de gás, criando problemas no fluxo de gás;	Inspeccionar a saída e a linha de gás;
		Limpar o caminho de qualquer bloqueio ou água;
Quando a válvula de gás é aberta, o valor no manómetro oscila continuamente. A chama alterna entre fraca a forte;	Acumulação de água no caminho do gás. Fluxo de gás não é constante;	Remover a água;
Quando a válvula do gás está fechada, os níveis no manómetro oscilam continuamente;	Fugas e/ou presença de água na tubagem do gás;	Reparar a secção do vazamento;
		Remover a água;
Pressão no manómetro aumenta rapidamente quando a pressão é baixa e ao atingir uma determinada pressão, nenhuma alteração ocorre;	A taxa de fuga do gás, é diretamente proporcional à pressão do gás. Quanto maior a pressão do gás, maior é a sua fuga;	Inspeccionar o depósito de gás do digestor;
		Reparar a área de fugas;
A produção de gás inicia-se normalmente, mas a pressão no manómetro começa a cair, ou não aumenta de todo;	Fugas na linha de gás, na cúpula e/ou na parede do digestor;	Inspeccione a tubagem do gás, a caixa de entrada, a cúpula e verificar se há fugas. Se não houver em nenhum desses locais, inspeccionar o interior do digestor. Fazer reparos adequados;
	Matérias-primas insuficientes para a digestão anaeróbia; portanto, a produção de gás é baixa;	Adicionar matérias-primas frescas para a digestão anaeróbia de forma programada e ao nível adequado;
	Foram introduzidos tóxicos no interior do digestor, que mataram os microrganismos, e portanto a produção de gás parou;	Recolher uma amostra de lama num copo. Observar o copo após 24 horas. Se não houver bolhas visíveis, significa que os microrganismos morreram. Limpe completamente o digestor e recarregue;

## Problemas mais complexos

Apesar de existirem diversos problemas que podem ser diagnosticados e corrigidos de forma simples, existem outros que não são tão facilmente diagnosticados. Na eventualidade da ocorrência de um problema mais complexo, é necessário recorrer-se a um técnico experiente, para que este possa determinar de onde vem o problema e o possa resolver.

### 3.5.7. Manutenção

As atividades de manutenção e monitorização de uma unidade de digestão anaeróbia têm por objetivo, prevenir a ocorrência de problemas, potenciar a produção de biogás e ainda aumentar o tempo de vida da mesma. Devido à especificidade de alguns elementos que compõem a unidade, a sua manutenção e monitorização deve ser efetuada por pessoas formadas e treinadas para a realização destas atividades.

#### Manutenção das principais peças/elementos

Para evitar prejuízos maiores e avarias irreversíveis, é essencial a manutenção dos principais elementos. Não só para o correto funcionamento da unidade, mas essencialmente para precaver gastos em reparações. A inspeção visual diária de alguns elementos é fundamental. Cabe aos responsáveis pela unidade, garantirem uma inspeção mais rigorosa dos elementos e a sua limpeza periódica. Para isso será necessário estabelecer com que frequência se deverão realizar estas ações (Tabela 29), no entanto, a frequência deverá ser adaptada para cada caso em particular.

**Tabela 28 – Frequência de verificação e limpeza dos principais elementos**

<b>Verificação/Limpeza</b>	<b>Frequência</b>
Nível de água no interior	Mensalmente
Entupimentos na tubagem de entrada	Semanalmente
Limpar caixa de entrada	Diária
Limpar caixa de saída	Semestralmente
Danos e corrosão das articulações, acoplamentos e válvulas	Mensalmente
Desmontar e limpar a tubagem de gás	Anualmente
Desmontar e limpar a válvula de pressão do gás	Sempre que se verifique acumulação de água
Limpeza superficial da unidade	Mensalmente

### **Identificação de peças de substituição**

Devido ao desgaste e ao tempo de utilização, alguns elementos da unidade vão sofrer alterações e até mesmo danos, é então indispensável substituí-los previamente à ocorrência de falhas, para que não perturbem o normal funcionamento da unidade. Para isso é essencial haver uma certa sensibilidade para se perceber quando será necessário proceder-se à substituição de certos elementos/peças. Contudo, neste caso não faz sentido estabelecer-se com que regularidade se deverá ou não fazer substituições, pois algumas peças/elementos podem durar imenso tempo sem se danificarem, ao contrário de outras que devido a um errado manuseamento se podem danificar rapidamente. A Tabela 30 apresenta as peças/elementos que podem necessitar substituição.

**Tabela 29 – Identificação de peças de substituição**

<b>Peças/elementos de substituição</b>
Tubos PVC
Tubos de Gás
Conectores
Válvulas
Manómetro
Dessulfurizador
Fogão

### **3.6. Conclusão/Discussão sobre os manuais**

Dado que se trata apenas da proposta para a elaboração dos manuais finais, as propostas que aqui foram apresentadas, mostram algumas lacunas de informação. Como já referido anteriormente, serão posteriormente completados e revistos, pelos técnicos que acompanharam todo o processo de construção e instalação das unidades e também por designers, profissionais da comunicação e ciências sociais, no fundo é necessária uma equipa multidisciplinar. Pelo que servirão apenas de base. Para uma maior precisão e pormenorização seria fundamental um acompanhamento no local, para que houvesse uma

maior sensibilidade nas questões de construção e instalação. Como tal não foi possível, foi apenas criada a base necessária, que será completada após a conclusão do projeto.

Um aspeto que se revela de extrema importância é a linguagem a utilizar nos manuais.

Deve ser simples e, preferencialmente, gráfica. Isto porque o nível de alfabetização da população poderá ser muito baixo, o vocabulário local é simples e o nível de conhecimentos previsivelmente existentes sobre o processo é baixo ou nulo.

## 4. Conclusões

O presente capítulo apresenta as conclusões mais relevantes do trabalho desenvolvido no âmbito de estágio.

Do ponto de vista tecnológico, a digestão anaeróbia é de fato uma tecnologia de valorização promissora, pois é capaz de converter quase todas as fontes de biomassa, incluindo os diferentes tipos de resíduos orgânicos, em subprodutos altamente energéticos. A ampla aplicabilidade e a simples aplicação da digestão anaeróbia é uma grande oportunidade para a implementação desta tecnologia em todo o mundo, como uma forma de tratamento de resíduos, ou seja, pode ser alcançada uma estabilização dos resíduos acompanhados de produção simultânea de energia.

Particularmente para zonas remotas de difícil acesso e sem ligação à rede elétrica pública, muito comuns em países em vias de desenvolvimento e de grande dimensão, uma gestão eficiente dos resíduos sólidos urbanos e agropecuários, integrando a produção de biogás e respetiva conversão em eletricidade, permite diminuir significativamente o recurso aos combustíveis fósseis, trazendo vantagens a nível ambiental, social e económico.

Com esta dissertação foi possível aferir quais as necessidades para a construção de uma unidade, e conseqüentemente a sua operação e manutenção permitindo que a comunidade

se torne mais autossuficiente, contribuindo para o desenvolvimento rural e sustentável, sendo uma mais-valia tanto para a população como para o país.

É muito importante que a construção e instalação sejam realizadas com a participação ativa das comunidades envolvidas, pois no fim são elas que irão beneficiar das unidades e quanto mais compreenderem todo o processo, mais vantajoso isso será no futuro. É muito importante a interação e aceitação pelas comunidades dos técnicos e empresas envolvidos no processo.

Para complementar estas conclusões, e porque se afigura importante abordar que, após todo o processo, o acompanhamento do funcionamento das unidades será fulcral para as comunidades, para que a demonstração da viabilidade desta tecnologia seja feita e que se comprove que é eficaz.

## *Referências Documentais*

- [1] “FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations,” [Online]. Available: <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/mdg/en/>.
- [2] N. Caetano, “Valorização da Matéria Orgânica Biodegradável (MOB) dos Resíduos Sólidos por Digestão Anaeróbia,” 2010.
- [3] W. Kossmann, S. Habemehl e T. Hoerz, *Biogas Digest*, vol. I, 1997.
- [4] “APREN,” Setembro 2015. [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos/publicacoes/nacionais/>.
- [5] O. Pires, “Sistemas Inteligentes para Monitorização e Controlo de Processos Integrados de Tratamento Biológico de Efluentes,” 2007.
- [6] R. Mitchel e J.-D. Gu, *Environmental Microbiology*, 2 ed., Wiley-Blackwell, 2010, p. 410.
- [7] K. Ostrem e N. Themelis, “Greening Waste: Anaerobic Digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes,” 2004.
- [8] M. Alves, “Estudo e Caracterização de Digestores Anaeróbios de Leito Fixo,” 1998.
- [9] A. Khalid, M. Arshad, M. Anjum, T. Mahmood e L. Dawson, *The Anaerobic Digestion of Solid Organic Waste. Waste Management*, 2011.
- [10] D. Deublein e Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources - An Introduction*, Germany: Wiley-VCH, 2008, pp. 47-137.
- [11] A. Amaral, “Image Analysis in Biotechnological Processes: Applications to Wastewater Treatment,” Tese de Doutoramento - UM, 2003.
- [12] P. Williams, *Waste Treatment and Disposal*, 2 ed., John Wiley & Sons, Ltd, 2005, p. 388.
- [13] J. Ogejo, Z. Wen, J. Ignosh, E. Bendfeldt e E. Collins, “Biomethane Technology,” Virginia Cooperative Extension, 2009.

- [14] T. Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk e R. Janssen, *Biogas Handbook*, 2008.
- [15] F. Monnet, “An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes,” Remade Scotland, 2003.
- [16] UNIDO, “Biogas,” Capacity Building Programme on Renewable Energy - Observatory for Renewable Energy in Latin America and the Caribbean, 2013.
- [17] “Biomassa - Digestores Anaerobios,” IDEA - Instituto para la Diversificación y Ahorro de, Madrid, 2007.
- [18] N. Caetano, “6. Processos Biológicos de Tratamento de Resíduos Sólidos,” em *Tratamento de Resíduos Sólidos e Remediação/Descontaminação de Solos*, ISEP, 2014, p. 70.
- [19] P. Vandevivere, L. Baere e W. Verstraete, “Types of anaerobic digester for solid waste,” em *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*, J. Mata-Alvarez (Ed.). IWA Publishing., 2001, pp. 111-140.
- [20] L. Arsova, *Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product*, Columbia University, 2010.
- [21] U. Werner, U. Stöhr e N. Hees, *Biogas plants in animal husbandry*, 1989.
- [22] R. Deganutti, M. Palhaci, M. Tavares e C. Santos, “Biodigestores Rurais,” 1995.
- [23] U. Marchain, “Biogas processes for sustainable development,” 1992. [Online]. Available: [http://www.fao.org/docrep/T0541E/T0541E0b.htm#Domestic uses](http://www.fao.org/docrep/T0541E/T0541E0b.htm#Domestic%20uses).
- [24] Surendra, D. Takara, Andrew e Hashimoto, “Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges,” *Elsevier*, n.º Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 14, 2014.
- [25] BiogasPro Agama, “AGAMA BiogasPro - User Manual,” África do Sul, 2011.
- [26] “LK's Braais&Accessories,” [Online]. Available: <http://www.lks.co.za/index.php/gas-products/burners-and-boiling-tables>. [Acedido em 06 2016].
- [27] J. Baloyi, C. Everson, T. Everson, J. Gambiza, K. Langley, L. Magagula, N. Mapeyi, M. Smith, D. Tinarwo e K. Zuma, “Improving the livestock carrying capacity with rainwater harvesting and conservation on grasslands for extensive and/or intensive

livestock production and biogas generation from manure in rural areas of South Africa,” Water Research Comission, 2015.

[28] B. Sørensen, Renewable Energy, 3 ed., Elsevier Science, 2004.































[29] G. Tchobanoglou e F. Kreith, Handbook of solid waste management, 2 ed., vol. I, McGRAW- HILL, 2002.



# Anexo A.

## Registo de Operação

Local: Novo Destino































<b>Data</b>							
<b>Hora</b>							
<b>Resíduos</b> 	4 baldes*	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes
	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>
	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>
<b>Água</b> 	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes
	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/>
	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>	Não <input type="checkbox"/>
	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>	__ <input type="checkbox"/>
<b>Pressão</b>							
<b>Condições Atmosféricas</b>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>
	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>
	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>
	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>	 <input type="checkbox"/>
<b>Outras observações</b>							

\*Baldes – Cada balde tem a capacidade de 10 L



# Registo de Operação































Local: Santa Jenny

<b>Data</b>							
<b>Hora</b>							
<b>Resíduos</b>	4 baldes*	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes
	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>
<b>Água</b>	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes	2 baldes
	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>
<b>Pressão</b>							
<b>Condições Atmosféricas</b>	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 
<b>Outras observações</b>							



# Registo de Operação

Local: Mendes da Silva

<b>Data</b>							
<b>Hora</b>							
<b>Resíduos</b>	8 baldes*	8 baldes	8 baldes	8 baldes	8 baldes	8 baldes	8 baldes
	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>
<b>Água</b>	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes	4 baldes
	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> ___ <input type="checkbox"/>
<b>Pressão</b>							
<b>Condições Atmosféricas</b>	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 	<input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/>  <input type="checkbox"/> 
<b>Outras observações</b>							