



# **INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR**

**FERNANDO FERREIRA PINTO ALVES**

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, perfil de  
Hidráulica

Orientadoras:

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos – ADEQ/ISEL

Eng<sup>a</sup> Ana Paula de Sousa Teixeira – EPAL/AdP

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa, Professora Adjunta da ADEC

Vogais:

Doutor Teodoro José Pereira Trindade, Professor Adjunto da ADEQ

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos, Professora Adjunta da ADEQ

**Dezembro, 2018**





# **INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**

## **Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR**

**FERNANDO FERREIRA PINTO ALVES**

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, perfil de  
Hidráulica

Orientadoras:

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos – ADEQ/ISEL

Eng<sup>a</sup> Ana Paula de Sousa Teixeira – EPAL/AdP

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Helena Teixeira Cardoso Gamboa, Professora Adjunta da ADEC

Vogais:

Doutor Teodoro José Pereira Trindade, Professor Adjunto da ADEQ

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos, Professora Adjunta da ADEQ

**Dezembro, 2018**



## **Agradecimentos**

Incontestavelmente, em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter iluminado os meus passos nesta jornada.

Às minhas orientadoras Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos (ISEL) e Eng<sup>a</sup> Ana Paula de Sousa Teixeira (EPAL), por acreditarem em mim, por serem uma fonte de inspiração, pela incansável disponibilidade e pelo apoio.

Agradeço também a todos os técnicos responsáveis pelas ETAR inquiridas, pela disponibilidade revelada e pelo esforço realizado na obtenção dos dados necessários ao preenchimento dos inquéritos.

Agradeço a Eng.<sup>a</sup> Rita Alves pela disponibilização de dados das ETAR das Águas do Tejo Atlântico.

Agradeço ao Eng. Joaquim Peres e ao Eng. Nuno Silva pelos dados disponibilizados relativos as ETAR das Águas do Algarve

Agradeço também à Eng.<sup>a</sup> Sónia Mexias, pela disponibilização dos dados.

Aos meus pais Fernando Ferreira Alves e Sónia de Sousa Pinto, pela educação, paciência, entendimento e inspiração que me proporcionaram ao longo da vida, servindo como catalisadores para a formação da pessoa que hoje sou. Aos meus irmãos Cláudia Vanessa Pinto Alves, Rui Miguel Pinto Alves e Dione Alexandra Pinto Alves, pela paciência e força.

Agradeço a minha namorada Apolónia da Jéssica Zuca Alfândega, pelo apoio, paciência e entendimento.

Muito Obrigado!

## Lista de Siglas, Abreviaturas e Acrónimos

<b>Sigla/Abreviatura</b>	<b>Descrição</b>
AOV	Ácidos orgânicos voláteis
AR	Águas residuais
C/N	Razão carbono azoto
CHP	Geração combinada de calor e energia - Combined heat and power
CSTR	Reactor contínuo de mistura completa - Continuous stirring tank reactor
DA	Digestão anaeróbia
EET	Encefalopatias espongiiformes transmissíveis
EGSB	Digestor de leito granular expandido - Expanded granular sludge blanket
ENE	Estratégia Nacional para Energia
ENRRUBDA	Estratégia Nacional para a Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados a Aterros
ERSAR	Entidade Reguladora do Sector das Águas e Resíduos
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
F/M	Razão alimento microrganismo
FER	Fonte de energia renovável
FORSU	Fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos
GLP	Gás liquefeito de petróleo
INE	Instituto Nacional de Estatística
MCFC	Célula de combustível de carbonato fundido - Molten carbonate fuel cell
PAFC	Célula de combustível de ácido fosfórico - Phosphoric acid fuel cell
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PEM	Membrana de troco de protões - Proton exchange membrane
PEMFC	Célula de combustível de troca de portões - Proton exchange fuel cell
PENSAAR	Plano estratégico de abastecimento de água e saneamento de águas residuais

PERSU	Plano estratégico para resíduos urbanos
PMS	Ponto morto superior
PVC	Policloreto de vinil
RU	Resíduos urbanos
SAU	Superfície agrícola utilizada
SEI	Sistemas eléctricos independentes
SEN	Sistema eléctrico nacional
SEP	Sistemas eléctricos de serviço público
SOFC	Célula de combustível de óxido sólido - Solid oxide fuel cell
SSCE	Sistema de saneamento da costa do Estoril
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais – Total solids
SV	Sólidos totais voláteis
$t_{RH}$	Tempo de retenção hidráulico
$t_{RS}$	Tempo de retenção de sólidos
UASB	Digestor anaeróbio de fluxo ascendente - Upflow anaerobic sludge blanket
UE	União europeia
UV	Ultravioleta
VFA	Volatile fatty acids

## Resumo

As preocupações com questões relativas à preservação ambiental tornaram-se mais pertinentes com a crescente industrialização e consequente urbanização. Os resíduos e as águas residuais originados nestas actividades têm que ser geridos de forma adequada, como é o caso das ETAR, caso contrário contribuem para diversos problemas ambientais como o aquecimento global. Actualmente, as lamas produzidas nas ETAR podem ser transformadas em biogás através da digestão anaeróbia. A optimização deste processo é desejável, no entanto a quantidade de lamas produzida já não apresenta na actualidade um grande potencial de crescimento em volume (ou massa), uma vez que a infra-estruturação do país está consolidada. Há, no entanto, uma oportunidade de identificar potenciais de optimização e valorização das etapas de digestão anaeróbia nas ETAR quer seja por optimizações de operações e/ou processos, quer seja pela realização da co-digestão anaeróbia das lamas com outros substratos.

No presente trabalho pretendeu-se realizar um levantamento das principais ETAR de Portugal com tratamento das lamas por digestão anaeróbia. Face ao elevado número de instalações foram seleccionadas seis ETAR da Região Centro e Sul. Analisando os resultados verificou-se que apenas uma das ETAR apresenta capacidade para co-digestão anaeróbia. Assim, optou-se por estudar a hipótese de melhorar o pré-tratamento das lamas, nomeadamente com incrementos no teor de sólidos totais (ST), de mais 1 e 2 % ST e de duas vezes o teor de ST das lamas (Cenário I). Posteriormente avaliou-se a introdução de substratos, seleccionados entre os disponíveis em Portugal, fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), chorume de suinicultura e resíduos alimentares (frutas e legumes) (Cenário II). Verificou-se que com a co-digestão desses substratos com as lamas é possível uma produção média de biogás de  $1\ 400 - 36\ 200\ \text{m}^3/\text{d}$ , ou seja, até três vezes superior à quantidade obtida só com lamas. Assim, foi possível uma produção de energia nas ETAR de  $1\ 130 - 70\ 870\ \text{kWh/d}$ .

A eficiência de cogeração de energia de biogás é de 30%, pelo que a substituição dos equipamentos de co-geração existentes nas ETAR deve ser equacionada, por forma a possibilitar ganhos significativos de energia. É ainda de referir a significativa perda de energia na forma de calor. No total da energia consumida pelas ETAR, a energia do biogás representa cerca de 10 a

30%, podendo chegar a cerca do dobro com a co-digestão e reduzir significativamente a contribuição para os gases com efeito estufa.

**Palavras-chave:** Lamas, Digestão Anaeróbia, Biogás, Valorização Energética, Co-geração.

## Abstract

Concerns with environmental preservation issues have become more relevant with increasing industrialization and urbanization. And the waste and wastewater from these activities have to be managed properly, as in the case of WWTP otherwise they contribute to various environmental problems such as global warming. Nowadays, the sludge produced at WWTP can be transformed into biogas through anaerobic digestion. The optimization of this process is desirable, however, the quantity of sludge produced no longer presents a great growth potential in volume (or mass), once the country's infrastructure is consolidated. However, there is an opportunity to identify potentials for optimization and valorization of the anaerobic digestion stages in the WWTP, either by optimization of operations and/or processes, such as thickening pre-treatment and operating conditions, such as temperature and pH, or by performing the sludge anaerobic co-digestion with other substrates.

In the present work it was intended to carry out a survey of the main WWTP of Portugal with sludge treatment by anaerobic digestion. Because of the high number of facilities, six WWTP were selected in the Central and South Regions. By analyzing the results, it was possible to verify that only one of the WWTP has the capacity for anaerobic co-digestion. Therefore, it was decided to study the possibility of improving sludge pretreatment, in particular with increases in total solids (TS) content of 1 and 2 % TS and twice the TS sludge content of (Scenario I). Afterwards, the introduction of specific substrates was selected, among those available in Portugal, organic fraction of the municipal solid waste (OFMSW), pig slurry and food wastes (fruits and vegetables) (Scenario II). It has been found that with the anaerobic co-digestion of these substrates and sludge allows an average biogas production of  $1\,400 - 36\,200\text{ m}^3/\text{d}$ , representing three times more than the amount obtained with sludge alone. Thus, an energy generation of  $1\,130 - 70\,870\text{ kWh/d}$  was possible in the WWTP.

The biogas energy cogeneration efficiency represents around 30%. Therefore, the replacement of existing cogeneration equipment in the WWTP must be considered in order to allow significant energy gains. It is also worth mentioning the significant energy loss in the form of heat. In the total energy consumed by the WWTP, the biogas energy represents about 10 to 30 %, being able

to reach about double with the co-digestion and significantly reduce the contribution to greenhouse gases.

**Key-words:** WWTP sludge; Anaerobic Digestion; Biogas; Energetic Valorization; Co-generation

## Índice

Agradecimentos .....	i
Lista de Siglas, Abreviaturas e Acrónimos.....	ii
Resumo .....	iv
Abstract .....	vi
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objectivos.....	3
1.3. Estrutura .....	4
2. Digestão Anaeróbia.....	6
2.1. Breve historial .....	6
2.2. Descrição do processo.....	9
2.2.1. Hidrólise.....	9
2.2.2. Acidogénese ou Fermentação .....	10
2.2.3. Acetogénese .....	10
2.2.4. Metanogénese .....	10
2.3. Factores que afectam a Digestão Anaeróbia .....	10
2.3.1. Tempos de retenção de sólidos e hidráulico .....	11
2.3.2. Temperatura .....	12
2.3.3. Alcalinidade .....	13
2.3.4. pH.....	14
2.3.5. Presença de Substâncias Inibidoras/Material Tóxico .....	15
2.3.6. Biodisponibilidade de nutrientes.....	18
3. Biogás .....	20
3.1. Definição .....	20

3.2.	Produção.....	20
3.3.	Purificação.....	22
3.4.	Armazenamento .....	25
3.5.	Aplicação.....	27
4.	Digestor Anaeróbio.....	29
4.1.	Breve historial .....	29
4.2.	Classificação.....	30
4.3.	Exemplos de Digestores Anaeróbios.....	35
5.	Co-digestão Anaeróbia.....	39
5.1.	Conceito .....	39
5.2.	Substratos .....	39
5.2.1.	Lamas de ETAR.....	39
5.2.2.	Resíduos Urbanos .....	44
5.2.3.	Resíduos Agrícolas .....	45
5.2.4.	Pré-tratamento dos substratos .....	49
6.	Co-geração .....	53
6.1.	Considerações gerais .....	53
6.2.	Grupo motor-gerador.....	54
6.3.	Caldeira com turbina a vapor .....	56
6.4.	Turbina a gás .....	59
6.5.	Pilhas de combustível.....	60
6.6.	Seleccção do tipo de sistema de cogeração.....	63
7.	Enquadramento Legal .....	65
7.1.	Energia Renovável - Biogás.....	65
7.2.	Lamas de tratamento de ARU e outros substratos .....	67

8.	Lamas de ETAR em Portugal .....	69
9.	Resíduos de Portugal.....	71
9.1.	Resíduos urbanos.....	71
9.2.	Resíduos agrícolas.....	73
10.	Casos de estudos - ETAR de Portugal .....	75
10.1.	Metodologia.....	75
10.2.	Descrição do processo da DA das ETAR seleccionadas .....	76
10.3.	Caracterização dos parâmetros de desempenho do processo da DA.....	87
10.3.1.	Lamas .....	89
10.3.1.1.	Lamas afluentes .....	89
10.3.1.2.	Lamas efluentes .....	93
10.3.1.3.	Eficiência de conversão de SV .....	93
10.3.2.	Biogás.....	95
10.3.2.1.	Quantidade e qualidade do biogás .....	95
10.3.2.2.	Produção específica de biogás .....	96
10.3.3.	Energia .....	97
10.3.3.1.	Produção energética.....	97
10.3.3.2.	Eficiência de conversão energética.....	99
10.4.	Potencial de co-digestão anaeróbia na produção de energia .....	100
10.4.1.	Considerações gerais.....	100
10.4.2.	Cenário I – Pré-tratamento das lamas afluentes.....	100
10.4.3.	Cenário II – Co-digestão anaeróbia com diferentes substratos,.....	102
10.5	Lamas desidratadas .....	106
11.	Conclusões .....	108
12.	Perspectivas de trabalhos futuros.....	110

13. Referências Bibliográficas .....	111
Anexos .....	127
Anexo I – Resumos, Posters e Apresentação oral do Fórum Química da CHEMPOR e do Luso-Galego 2018.....	128
Anexo II - Quantidade e composição média de estrumes e de chorumes.....	137
Anexo III - Exemplo da carta de pedido de dados enviada as ETAR.....	139
Anexo IV - Resposta aos Inquéritos .....	144
Anexo V - Exemplo dos cálculos realizados aos dados obtidos das ETAR .....	167

## Índice de Figuras

Figura 1: Etapas do tratamento das águas residuais e subprodutos .....	8
Figura 2: Etapas da Digestão Anaeróbia.....	9
Figura 3: Exemplo de um gasómetro de membrana .....	25
Figura 4: Exemplo de um gasómetro externo .....	26
Figura 5: Caldeira para queima do biogás .....	26
Figura 6: Tanque séptico.....	29
Figura 7: Digestor: a) cilíndrico e b) oval.....	31
Figura 8: Digestor anaeróbio com sistema de injeção de gás .....	34
Figura 9: Digestor anaeróbio com sistema de bombeamento .....	34
Figura 10: Digestor anaeróbio com sistema de agitação mecânica .....	35
Figura 11: Exemplo de um digestor UASB .....	36
Figura 12: Digestor de Leito Granular Expandido .....	37
Figura 13: Exemplo de um CSTR.....	38
Figura 14: Grupo motor-gerador para cogeração de energia eléctrica e térmica.....	55
Figura 15: Funcionamento de uma turbina a vapor .....	57
Figura 16: Exemplos de turbinas por impulso e por reacção .....	58
Figura 17: Funcionamento de uma célula de combustível.....	61
Figura 18 :Energia produzida por FER em Portugal .....	66
Figura 19: Percentagem dos FER usados na produção de energia .....	66
Figura 20 : Caracterização física dos RU em 2017.....	72
Figura 21: Produção de cereais, grão e frutas em Portugal Continental em 2017 .....	73
<del>Figura 22: Fileira de tratamento da ETAR 1 .....</del>	<del>79</del>
Figura 23: Fileira de tratamento da ETAR 2 .....	80
Figura 24: Fileira de tratamento da ETAR 3 .....	82
Figura 25: Fileira de tratamento da ETAR 4 .....	83
Figura 26: Fileira de tratamento da ETAR 5 .....	85
Figura 27: Fileira de tratamento da ETAR 6 .....	86
Figura 28: Variação do $t_{RH}$ das ETAR seleccionadas.....	88
Figura 29: Variação do $t_{RS}$ das ETAR seleccionadas .....	88

Figura 30: Caudal de lamas mistas nas: a) ETAR 1, b) ETAR 2, c) ETAR 3, d) ETAR 4, e) ETAR 5 e f) ETAR 6 ..... 90

Figura 31: ST e SV nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6..... 92

Figura 32: Variação do caudal do biogás e do metano nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6 ..... 95

Figura 33: Energia eléctrica produzida e comprada a EDP nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6 ..... 98

Figura 34: Variação dos caudais de lamas digeridas e de lamas para valorização agrícola nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6 ..... 106

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Gamas de $t_{RH}$ para a digestão anaeróbia das lamas mistas .....	12
Tabela 2: Substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas para DA .....	17
Tabela 3: Composição típica do biogás proveniente da digestão anaeróbia de lamas.....	20
Tabela 4: Produção do biogás em função de diferentes tipos de substrato.....	21
Tabela 5: Fórmulas de cálculo do PCS e do PCI.....	21
Tabela 6: Métodos de aumento da concentração do $CH_4$ .....	23
Tabela 7: Características das lamas primárias e secundárias.....	41
Tabela 8: Composição dos resíduos urbanos e quantidade de $CH_4$ possível de produzir.....	44
Tabela 9: Composição da palha do milho e de arroz .....	45
Tabela 10: Características de resíduos de frutas e vegetais .....	46
Tabela 11: Características do chorume/estrupe de diferentes tipos de gado .....	48
Tabela 12: Biogás produzido a partir de chorume de diferentes gados .....	49
Tabela 13: Co-digestão de lamas de ETAR com diversos substratos em condições distintas.....	52
Tabela 14: Vantagens e desvantagens do grupo motor-gerador .....	56
Tabela 15: Vantagens desvantagens das caldeiras com turbina a vapor.....	58
Tabela 16: Vantagens e desvantagens de turbinas a gás.....	60
Tabela 17: Tipos de pilhas de combustível.....	62
Tabela 18: Vantagens e desvantagens das pilhas de combustível .....	63
Tabela 19: Principais características das unidades de cogeração .....	64
Tabela 20: Quantidade de águas residuais urbanas e lamas produzidas entre 2011 e 2018 .....	69
Tabela 21: Composição média das lamas de ETAR de Portugal.....	70
Tabela 22: População e quantidade de RU produzido em Portugal entre 2011 e 2017 .....	71
Tabela 23: Resíduos urbanos, bio resíduos e a quantidade enviada para valorização energética por DA em Portugal de 2011 a 2017 .....	72
Tabela 24: Estrupe produzido no ano de 2016 em Portugal Continental .....	74
Tabela 25: ETAR com digestão anaeróbia no Algarve, Lisboa e Porto .....	76
Tabela 26: Parâmetros dos digestores anaeróbios e condições operatórias.....	87
Tabela 27: $t_{RH}$ , $t_{RS}$ e temperatura dos digestores anaeróbios das ETAR seleccionadas.....	89
Tabela 28: Caudal de lamas efluentes e quantidade de SV nas ETAR seleccionadas.....	93
Tabela 29: Eficiência de remoção de SV nas ETAR seleccionadas .....	94

Tabela 30: Produção do biogás nas ETAR seleccionadas .....	97
Tabela 31: Eficiência de cogeração de energia eléctrica nas ETAR seleccionadas .....	99
Tabela 32: Produção de energia nas ETAR seleccionadas .....	100
Tabela 33: Caudal e composição do co-substrato e energia .....	101
Tabela 34: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com a FORSU .....	103
Tabela 35: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com chorume de suinicultura .....	103
Tabela 36: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com resíduos de frutas e legumes .....	104
Tabela 37: Energia produzida com a eficiência de cogeração das ETAR seleccionadas .....	104
Tabela 38: Produção de lamas para valorização agrícola nas ETAR seleccionadas .....	107



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Até ao início do século XX, o conceito de águas residuais era pouco usado pois a maior parte da eliminação de resíduos produzidos era feita a seco. Contudo, devido à revolução industrial, o êxodo rural e consequente superlotação dos centros urbanos, a situação tornou-se insuportável, fazendo com que medidas, tais como a colecta dos resíduos por via hídrica com o uso de colectores, tomasse lugar ou se desenvolvesse.

De princípio, tal aspecto só foi observado devido a questões de higiene pública, todavia, mais tarde, notou-se que este transporte de resíduos, por meio de colectores, poderia estar na origem de um elevado grau de poluição que os meios receptores das águas colectadas apresentavam e de doenças epidémicas, tais como a cólera, por volta de 1854. Assim, viu-se a necessidade de desenvolver um mecanismo de tratamento das águas recolhidas, de forma a minimizar este problema, daí surgem as estações de tratamento das águas residuais (ETAR).

Segundo Marecos do Monte *et al.* (2016), a ETAR é composta por uma fileira de tratamentos com operações<sup>1</sup> e processos<sup>2</sup> que, visam tratar as águas residuais de um determinado aglomerado populacional, de modo que a mesma água apresente características estipuladas pela legislação vigente (Decreto-Lei 152/97 de 19 de Junho), que não prejudiquem nem a saúde pública e nem o meio receptor.

As águas residuais que chegam às ETAR têm composições variadas, que dependem de diversos factores, como por exemplo os factores socioeconómicos da região onde a água é utilizada. As substâncias presentes na água residual apresentam-se na forma particulada, coloidal e dissolvida, e a remoção destas substâncias dá origem a água residual tratada, a subprodutos sólidos - lamas, areias, gradados/tamisados, e gasosos como por exemplo o biogás.

---

<sup>1</sup> Operações - método de tratamento em que os resíduos são removidos através de meios predominantemente físicos (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

<sup>2</sup> Processos - método de tratamento em que os resíduos são removidos através de meios predominantemente químicos (Al Seadi *et al.*, 2008).

Os tipos e a complexidade das operações e dos processos a serem implementados numa fileira de tratamento nas ETAR dependem da água residual recebida e da qualidade do efluente tratado. Assim sendo, as ETAR podem apresentar até 5 níveis de tratamento, nomeadamente os tratamentos: preliminar, primário, secundário, terciário e avançado. Nestes níveis de tratamento são removidos os sólidos em suspensão grosseira, sólidos em suspensão facilmente sedimentáveis, a matéria orgânica biodegradável, nutrientes responsáveis pela eutrofização e poluentes específicos (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

As lamas possuem características relativamente peculiares, podendo ser produzidas tanto a nível primário, como secundário e terciário e são ricas em matéria orgânica comparativamente aos outros resíduos, fazendo com que seja possível valorizar as mesmas como fertilizantes agrícolas ou como corrector de solos. Contudo, há que se ter atenção à proveniência da água residual a tratar e a consequente composição das lamas, que podem apresentar compostos altamente prejudiciais para a saúde humana e para o ambiente (microrganismos patogénicos, metais pesados, entre outros), tornando inviável esta valorização. E mesmo que esta composição demonstre a inexistência de compostos dessa natureza, as lamas deverão passar por um tratamento prévio, de modo a satisfazerem os requisitos (Decreto-Lei 276/2009 de 2 de Outubro) relativos à sua utilização. O tratamento das lamas pode ser realizado através da estabilização química pela adição de reagentes e a da estabilização biológica por compostagem e/ou por digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia (DA), de acordo com Álvarez e Soto (2011), é o processo de degradação da matéria orgânica em compostos minerais ou inorgânicos, realizada por bactérias que conseguem processar o seu metabolismo na ausência do oxigénio. Esta digestão tem como produtos finais o metano ( $\text{CH}_4$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), entre outros.

---

A possibilidade da produção do metano faz com que a digestão anaeróbia ocupe um lugar de importância relevante, relativamente as outras formas de tratamento das lamas. Isto porque, o biogás produzido com 55 a 80 % de metano pode ser valorizado na produção de energia térmica e/ou eléctrica (Álvarez e Soto, 2011).

A maior ou menor produção do biogás está intimamente ligada à tipologia da matéria orgânica que se encontra disponível nas lamas para a realização da digestão anaeróbica. Contudo se forem

incorporados outros resíduos ao processo, tais como resíduos urbanos e/ou agrícolas, a produção poderá ser optimizada.

A fracção orgânica dos resíduos urbanos apresentam um grande potencial de contribuição para o processo, segundo Sosnowski *et al.*(2003), dependendo da quantidade de substrato adicionado a porção do biogás conseguido pode variar entre os 0,4 e 0,6 l por grama de sólidos totais voláteis (SV).

De acordo com Zareei (2018), a quantidade de metano produzido, usando estrume de gado bovino pode chegar a 0,14 m<sup>3</sup>/kg, sendo maior comparativamente a quantidade obtida com o gado caprino (0,1 m<sup>3</sup>/kg) e isto é devido a composição rica em proteína apresentado por tal gado. A quantidade de metano produzido com resíduos agro-industriais, segundo Mussoline *et al.* (2013), pode atingir 0,28 m<sup>3</sup>/kg de sólidos voláteis dependendo das culturas a serem produzidas, sendo mais acentuado para o cultivo do arroz (palha do arroz). Assim sendo, Portugal apresenta um potencial de produção de biogás considerável uma vez que os resíduos urbanos produzidos, no ano de 2014 foram de aproximadamente 4,7 milhões de toneladas e os das indústrias pecuária e agrícola representam cerca de 3 % dos resíduos sectoriais totais (3 % de 11,3 milhões de toneladas) (INE, 2016).

De acordo com a ERSAR (2016), existem no país cerca de 2743 ETAR, todavia pouco mais de 1/3 das mesmas realizam a digestão anaeróbia, e nestas existe a possibilidade do grau de eficiência do processo não ser o desejado.

## **1.2. Objectivos**

Face à problemática da DA de lamas de ETAR, pretende-se realizar um levantamento relativo a capacidade instalada e ao grau de eficiência do processo da digestão anaeróbia levado a cabo pelas ETAR em Portugal, e a possibilidade da realização de uma co-digestão anaeróbia com outros substratos que não estejam a ser incorporados, bem como ter noção do potencial para a produção do biogás. Para tal, é necessário:

- Realização de uma revisão bibliográfica, relativa a digestão e co-digestão anaeróbia, factores que a condicionam e mecanismos a ser desenvolvidos para a produção do biogás;

- Levantamento da capacidade instalada e da eficiência do processo de DA levado a cabo por algumas das ETAR de Portugal;
- Levantamento da quantidade e qualidade de alguns resíduos possíveis de ser co digeridos com as lamas de ETAR;
- Avaliação da possibilidade da realização da co-digestão das lamas das ETAR com os efluentes e/ou resíduos que não estejam a ser incorporados;
- Determinação aproximada do potencial de produção de biogás que se poderia obter com a co-digestão e a consequente produção de energia.

### **1.3. Estrutura**

O Trabalho Final de Mestrado será constituído por 5 capítulos, sendo os mesmos:

- Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo, é realizado um enquadramento geral sobre o tema, a justificação da necessidade do seu desenvolvimento e são apresentados os objectos pretendidos.
- Capítulo 2 – Revisão bibliográfica: É realizada uma pesquisa bibliográfica relativa a digestão anaeróbia, ao biogás, aos digestores, factores que podem afectar o processo, a co-digestão anaeróbia e os possíveis substratos, para além das lamas, que podem ser incorporados e a cogeração de energia eléctrica e térmica com base no biogás.
- Capítulo 3 - Levantamento e análise de dados: Levantamento, das ETAR dotadas do processo da digestão anaeróbia em Portugal, da sua capacidade, grau de eficiência, detalhes operacionais e detalhes dos substratos que estão a ser incorporados. Também é realizado um levantamento das características dos resíduos biodegradáveis, como a fracção orgânica dos resíduos urbanos, os chorumes e outros, que podem ser encaminhados para o mesmo processo numa ETAR.
- Capítulo 4 – Co-digestão anaeróbia e produção de biogás: Avalia-se até que ponto é possível a realização da co-digestão anaeróbia e também quais as consequências que o mesmo processo têm, no que tange a produção do biogás e de energia.

- Capítulo 5 – Conclusões e críticas: Apresentam-se as considerações finais do trabalho.

No âmbito do presente trabalho foram também efectuadas três comunicações, duas em painel, no Fórum de Engenharia Química e Biológica 2018, realizado no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, entre 08 a 10 de maio e na CHEMPOR 2018 realizada na Universidade de Aveiro, de 2 a 4 de Outubro, e uma em apresentação oral no Encontro Luso-Galego realizado 2018 na Universidade do Porto de 21 a 23 de Novembro. Os documentos das referidas comunicações (poster, resumos e apresentação oral) são apresentados no Anexo I.

## 2. Digestão Anaeróbia

### 2.1. Breve historial

A DA é um processo antigo descoberto acidentalmente, a partir de observações de fenómenos que se desenrolavam em pântanos e que culminavam com a libertação de gases passíveis de serem queimados. Acredita-se que tais fenómenos foram replicados, pela primeira vez na China há mais de 2000 anos, e tal suspeita é baseada em tanques que se assemelham a digestores anaeróbios encontrados por Marco Polo numa das suas expedições. Existem registos que indicam que entre os séculos 14 e 17 d.C. agricultores da mesma região já usavam um método de DA a seco, em que o processo consistia em empilhar o chorume de gados, folhas de árvores, palhas de arroz, entre outros tipos de resíduos e cobrir tudo com terra (He, 2010).

Uma das primeiras referências científicas relativas à DA data de 1776, quando Volta após a ler uma publicação sobre gases inflamáveis, descobre o metano ( $\text{CH}_4$ ) e ainda conclui que a quantidade do mesmo gás produzido é função da quantidade de vegetação em decomposição nos pântanos por ele estudados. Dois anos mais tarde (1778) Volta ainda consegue isolado o  $\text{CH}_4$ . Entre os anos de 1804-1808, John Dalton e Humphrey Davy concluíram que o mesmo gás abordado por Volta era o metano (Marchaim, 1992).

Bechamp em 1868, chegou a conclusão de que o processo observado na produção metano a partir da decomposição de matéria orgânica, era microbiológico (Abbasi e Tauseef, 2012). Observou também que tratava-se de uma população de microrganismos diversificada, uma vez que, dependendo do substrato decomposto, o produto final variava (Marchaim, 1992).

No ano de 1884 Gayon, um estudante de Pasteur fermentou chorume a 35 °C e obteve cerca de 100 litros de metano por  $\text{m}^3$  de chorume, e posteriormente conseguiu provar que o mesmo gás poderia ser usado para a produção de energia. Assim sendo, em 1896, o metano obtido através da fermentação dos resíduos conseguidos dos esgotos, já estava a ser usado para iluminação de estradas em Exeter – Inglaterra e começou a ser usado para o mesmo fim em Bombaim – Índia, no ano de 1897 (Marchaim, 1992).

Em 1906, Sohngen conseguiu aumentar a actividade das bactérias usando acetato e concluiu que, o mesmo processo resultava na produção de hidrogénio e dióxido de carbono, que por sua vez poderiam ser precursores do metano (Marchaim, 1992). No ano de 1910, confirmou tal hipótese, e ainda acrescenta que o ácido acético através de descarboxilação pode também formar o metano (Abbasi e Tauseef, 2012).

Com o aparecimento da I Guerra Mundial (1914), a crescente utilização do petróleo e do carvão, a utilização desta tecnologia reduziu significativamente e só voltou a ter popularidade durante a II Guerra Mundial, devido a falta de tais combustíveis, contudo tal popularidade só durou até ao fim do mesmo conflito (1945) (Lora Grando *et al.*, 2017).

Entre os anos de 1950 a 1980, devido a uma nova crise de combustíveis fósseis e desenvolvimento de regulamentações relativas a redução da poluição, desenvolveram-se várias configurações de digestores anaeróbios, porém sua utilização era apenas considerada fiável para águas residuais industriais (Álvarez e Soto, 2011). Contudo, alterações foram sendo realizadas de modo a tornar a tecnologia mais abrangente.

A Dinamarca foi pioneira em aplicação de DA centralizada ao nível do continente europeu. Esta inovação foi pela primeira vez usada numa pequena comunidade de agricultores, e posteriormente em 1984, foi desenvolvida a primeira instalação centralizada de biogás na Jutlândia do Norte (Mæng *et al.*, 1999). No resto da Europa, em países como a Alemanha e a Inglaterra, apesar de já ter sido aplicada no século XX, a DA ganhou maior popularidade nos últimos 20 anos, devido a crescente preocupação com a gestão dos resíduos, com a reciclagem e com a utilização de fontes de energias renováveis (Edwards *et al.*, 2015).

A partir da segunda metade dos anos 80, com a crescente aplicação da DA em instalações de tratamento de águas residuais (ETAR), o seu emprego a nível de unidades familiares e rural reduziu significativamente e só voltou a ganhar notoriedade durante a viragem do século XX para o século XXI (Bond e Templeton, 2011).

Posteriormente, diversos estudos como os de Moeller e Torres, 1997; Metcalf e Eddy, 2003 e Mahdy *et al.*, 2015, foram sendo realizados visando determinar pormenores concernentes a sua eficiência. Relativamente a utilização de lamas de ETAR como substrato, constatou-se que as

características das mesmas, variam em função do nível de tratamento, como apresentado na Figura 1.

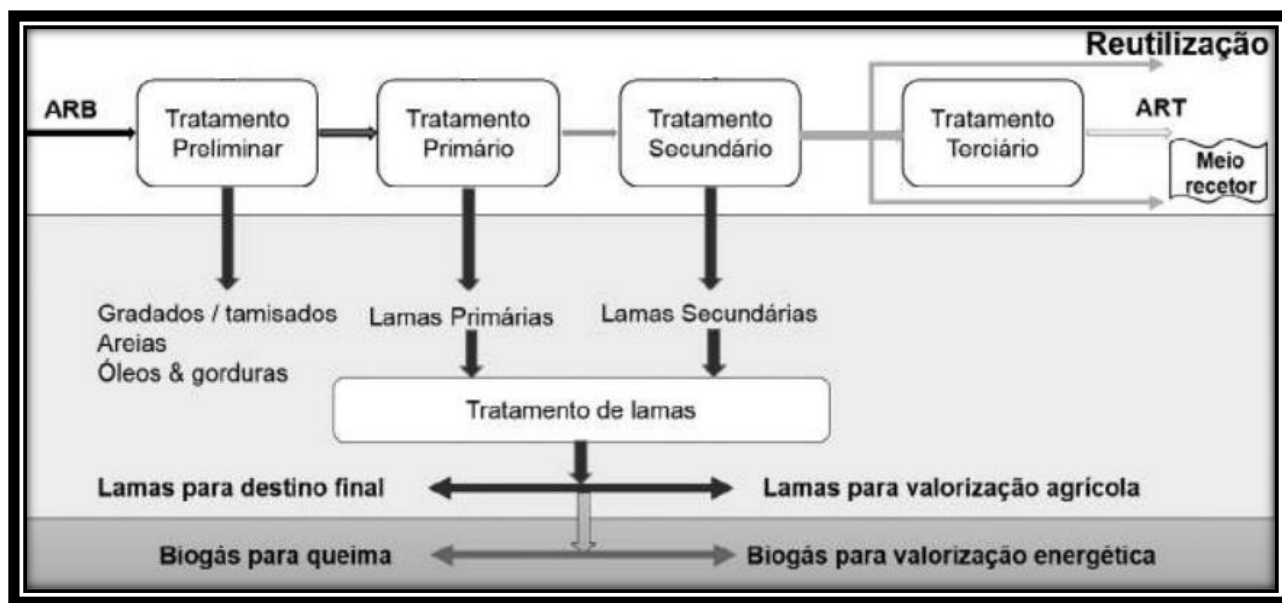


Figura 1: Etapas do tratamento das águas residuais e subprodutos

(Adaptada de Marecos do Monte *et al.*, 2016)

No tratamento primário, geralmente realizam-se operações que tencionam remover sólidos em suspensão facilmente sedimentáveis. Assim sendo as lamas conseguidas no final deste processo são relativamente pobres em matéria orgânica comparativamente às obtidas no final do tratamento subsequente, uma vez que essencialmente o tratamento secundário é definido como sendo o processo no qual é realizada a remoção da matéria orgânica restante presente nas águas residuais, em suspensão ou na forma coloidal. O tratamento terciário consiste basicamente na remoção de nutrientes, geralmente fósforo e azoto, responsáveis pela eutrofização do meio receptor da água residual tratada e também na remoção de microrganismos patogénicos (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

## 2.2. Descrição do processo

Segundo Coura (2015), a DA é um processo bioquímico capaz de estabilizar uma variedade significativa de matéria orgânica, sem necessidade de elevadas cargas energéticas e produzindo produtos finais menos nocivos para o ambiente e que podem ser utilizados para outros fins como por exemplo fertilizantes agrícolas (a matéria digerida).

A DA é realizada em 4 fases principais respectivamente a hidrólise, a acidogénese, a acetogénese e a metanogénese, conforme apresentado na Figura 2.

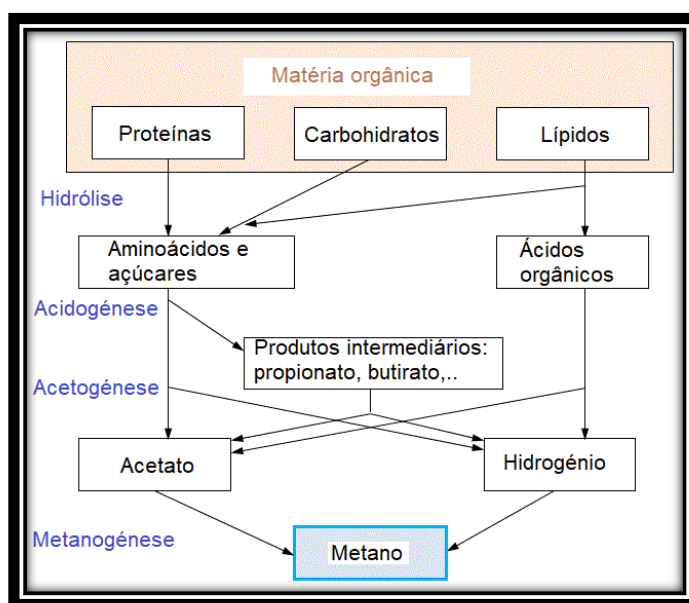


Figura 2: Etapas da Digestão Anaeróbia

(Adaptada de Gaur e Suthar, 2017)

### 2.2.1. Hidrólise

Segundo Gerardi (2003), a hidrólise é um processo que ocorre em compostos insolúveis complexos tais como hidratos de carbono, gorduras e proteínas. Esses compostos são substâncias poliméricas, isto é, grandes moléculas insolúveis constituídas por moléculas pequenas unidas por ligações químicas únicas. As moléculas menores tornam-se rapidamente solúveis com a quebra das ligações químicas e as bactérias hidrolíticas são capazes de quebrar essas ligações através a hidrólise (Speight, 2017).

### **2.2.2. Acidogénese ou Fermentação**

Nesta fase, os compostos solúveis produzidos por hidrólise (aminoácidos, ácidos orgânicos e açúcares) no digestor são degradados por uma grande diversidade de bactérias que conseguem realizar suas actividades em condições aeróbias e anaeróbias (bactérias facultativas) através da fermentação (Gerardi, 2003; Hansen e Cheong, 2013)

A degradação desses compostos resulta na produção de gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrogénio ( $\text{H}_2$ ), na produção de ácidos orgânicos voláteis (AOV), designados em inglês por *volatile fatty acids* (VFA), de baixo peso molecular como ácido butírico e lácteo para além de álcoois e aldeídos (Coura, 2015).

### **2.2.3. Acetogénese**

Na acetogénese, muitos dos ácidos e álcoois, produzidos durante a fase da acidogénese, são degradados em acetato que pode ser usado como um substrato por bactérias formadoras de metano. A produção de acetato é realizada através da actividade de bactérias acetogénicas (Gerardi, 2003; Angelidaki *et al.*, 2011)

### **2.2.4. Metanogénese**

Segundo Schlesinger e Bernhardt (2013), na fase metanogénica, ocorre a transformação do acetato,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  em metano ( $\text{CH}_4$ ), esta actividade é realizada pelas bactérias metanogénicas.

O metano é formado principalmente por dois processos: metanogénese hidrogenotrófica, na qual o  $\text{CO}_2$  é um receptor de electrões, sendo convertido a metano juntamente com o hidrogénio; e metanogénese acetoclástica, na qual o acetato é utilizado como substrato para produzir  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Este último processo é o que contribui para a maior parte do metano produzido (Garcia-Heras, 2002; Santos, 2010).

## **2.3. Factores que afectam a Digestão Anaeróbia**

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os principais factores que afectam o processo DA podem ser operacionais - tempos de retenção de sólidos ( $t_{RS}$ ) e hidráulico ( $t_{RH}$ ), temperatura; ambientais -

alcalinidade, pH, presença de substâncias inibidoras e material tóxico e biodisponibilidade de nutrientes.

### **2.3.1. Tempos de retenção de sólidos e hidráulico**

O tempo de retenção de sólidos ( $t_{RS}$ ) é o tempo em média que a biomassa (sólidos) permanece no reactor, sendo também designado por idades de lamas. O tempo de retenção hidráulico ( $t_{RH}$ ) é o tempo em média que as lamas ou a fracção líquida permanecem no mesmo reservatório (Metcalf e Eddy, 2014).

A determinação do  $t_{RH}$  pode ser realizada através do quociente do volume do reactor pelo caudal afluente ao mesmo, traduzida pela expressão 1.

$$t_{RH} = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Onde:

$t_{RH}$  – tempo de retenção hidráulico (d)

$V$  – volume do reactor ( $m^3$ );

$Q$  – caudal afluente ( $m^3/d$ )

A determinação do  $t_{RS}$  pode ser realizada através do quociente da biomassa dentro do digestor pela quantidade removida diariamente segundo a expressão 2.

$$t_{RS} = \frac{X * V}{Q_E * X_E} \quad (2)$$

Onde:

$t_{RS}$  – tempo de retenção de sólidos (d)

$X$  – concentração da biomassa dentro do reactor ( $g\ SV/m^3$ );

$V$  – volume do reactor ( $m^3$ );

$Q_E$  – caudal de lamas digeridas ( $m^3/d$ );

$X_E$  – concentração de biomassa no efluente ( $g\ SV/m^3$ );

O  $t_{RS}$  e o  $t_{RH}$  são os mesmos para um digestor anaeróbico de mistura completa uma vez que não há retenção de biomassa. (Metcalf e Eddy, 2014).

As bactérias metanogénicas, são as responsáveis por  $t_{RS}$  mais elevados (> 12 dias), isto deve-se ao facto do seu tempo de reprodução<sup>3</sup> ser muito superior relativamente ao e outras bactérias (3 a 30 dias). Os  $t_{RS}$  menores do que 10 dias são contra-indicados, pois não permitem o desenvolvimento destas mesmas bactérias o que pode originar falhas no processo (Jang *et al.*, 2014). Segundo Metcalf e Eddy (2014),  $t_{RS}$  superiores a 15 dias não traduzem variações significativas na eficiência do processo.

Os valores de  $t_{RH}$  afectam a taxa e a extensão da produção do metano. De todas as condições operacionais dentro de um digester anaeróbio, o  $t_{RH}$  é talvez a condição operacional mais importante que afecta a conversão de sólidos totais voláteis (SV) para produtos gasosos. A Tabela 1 mostra ainda a quantidade de metano conseguido na digestão de lamas mistas a diferentes  $t_{RH}$  e temperaturas.

Tabela 1: Gamas de  $t_{RH}$  para a digestão anaeróbia das lamas mistas

$t_{RH}$ (d)	Temperatura (°C)	Metano (%)	Referências
15	55	40,0	(De la Rubia <i>et al.</i> , 2006)
20	35	72,5	(Benabdallah <i>et al.</i> , 2007)
30	35	72,0	(Benabdallah <i>et al.</i> , 2007)
30	35	61,4	(Alepu <i>et al.</i> , 2016)

É possível observar na tabela 1 que, quantidades maiores de  $CH_4$  são conseguidas quando a DA é realizada a temperaturas próximas dos 30 °C e com  $t_{RH}$  compreendidos entre os 20 – 30 dias.

### 2.3.2. Temperatura

A temperatura é um dos factores que afecta de forma expressiva a digestão anaeróbia, mesmo com variações muito pequenas. Segundo Metcalf e Eddy (2014), a variação da temperatura afecta mais a metanogénese relativamente às outras etapas da DA, isto porque as bactérias tanto hidrolíticas como acidogénicas e outras envolvidas na DA são menos sensíveis a variações da temperatura comparativamente às bactérias metanogénicas.

<sup>3</sup> Tempo de reprodução - tempo necessário para as bactérias duplicarem o número da população (Gerardi, 2003).

A maior parte das bactérias metanogénicas são activas em duas gamas de temperatura, a mesófila (entre 30 e 38 °C) e a termófila (entre 50 e 57 °C). Com temperaturas fora destas gamas é mais difícil as bactérias metanogénicas conseguirem desenvolver eficazmente as suas actividades (Gerardi, 2003).

Preferencialmente a digestão anaeróbia é feita em condições mesófilas, por poder ser realizada à temperatura ambiente, dependendo da região e mesmo que o aquecimento se demostre necessário, é mais fácil e menos dispendioso. Contudo, há que garantir que a temperatura não se encontre abaixo dos 32 °C porque, mesmo o mínimo considerado sendo de 30 °C, é abaixo desta temperatura que a produção de metano começa a realizar-se mais lentamente (Gerardi, 2003).

A realização da digestão anaeróbia em condições termófilas geralmente é realizada em ETAR com a capacidade de realizar o aquecimento das lamas. Tem-se tomado especial atenção a estas condições, pelo facto de evidenciar-se que elevadas temperaturas podem ser sinónimo de maior quantidade de sólidos voláteis degradados e melhor produção de metano (Neshat *et al.*, 2017). No entanto, devido a possibilidade de acidificação durante o processo, a produção de biogás pode ser impedida. Também apresenta desvantagens, como diminuição da diversidade da biomassa, efluente de baixa qualidade, aumento da toxicidade, maior susceptibilidade às condições ambientais e custos mais elevados (Bowen *et al.*, 2014).

### **2.3.3. Alcalinidade**

A alcalinidade é definida com a capacidade que uma solução tem de neutralizar ácidos, e resulta da degradação de resíduos ricos em proteínas e aminoácidos como por exemplo as lamas espessadas. A alcalinidade está presente maioritariamente na forma de bicarbonatos que estão em equilíbrio com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás a um determinado pH (Gerardi, 2003).

Quando aminoácidos e proteínas são degradados, CO<sub>2</sub> e amónia (NH<sub>3</sub>) são libertados. A libertação de CO<sub>2</sub> resulta na produção de ácido carbónico, alcalinidade de bicarbonato e alcalinidade do carbonato. A alcalinidade do bicarbonato é a fonte primordial de carbono usada pelas bactérias metanogénicas na produção do metano (CH<sub>4</sub>) (Metcalf e Eddy, 2014).

É de salientar que uma elevada alcalinidade robustece a estabilidade de um digestor. Uma diminuição da alcalinidade abaixo do nível operacional (2000 a 4000 mg/L CaCO<sub>3</sub>) normal é utilizada como um indicador de falha no digestor (Metcalf e Eddy, 2003).

Segundo Gerardi (2003), a diminuição da alcalinidade pode ser causada por:

- Acumulação de (AOV) devido à falta de bactérias formadoras de metano para converter tais ácidos em metano;
- Presença de resíduos que inibem a actividade de bactérias formadoras de metano.

A suplementação em alcalinidade, quando a mesma for necessária, pode ser realizada com a adição de compostos carbonatados, como por exemplo o carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ou o bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>). (Li *et al.*, 2009).

A quantidade de alcalinidade a ser adicionada deve basear-se na capacidade prevista de produção de AOV (1 g de AOV por g de SV). Além disso, se a taxa de produção de AOV exceder a taxa de produção de metano, a alcalinidade deve ser adicionada. Uma maior taxa de produção de AOV relativamente a produção de metano geralmente ocorre durante o arranque, sobrecarga, perda de temperatura adequada e inibição (Gerardi, 2003).

Mancini *et al.*, (2018) constatou um aumento de cerca de 21,4 % na produção do biogás e um aumento na quantidade de AOV produzidos, com a adição de NaOH para o melhoramento da alcalinidade.

#### **2.3.4. pH**

A maior parte das bactérias envolvidas na digestão anaeróbia (principalmente as metanogénicas) reproduzem-se melhor com pH compreendidos entre 6,8 e 7,2 (Rajeshwari *et al.*, 2000). Durante o processo de DA o pH tem a tendência a reduzir-se devido à formação de AOV, contudo à medida que as bactérias metanogénicas vão entrando em acção, sintetizando tais ácidos e transformando os mesmos em metano e dióxido de carbono, o pH vai sendo estabilizado (Neshat *et al.*, 2017).

Embora a eficiência do digestor anaeróbico seja satisfatória dentro do intervalo acima referido, é recomendado pH entre 7,0 a 7,2 e ainda é importante salientar que para as bactérias

acidogénicas, pH mais ácidos (4 – 6,5) são mais satisfatórios, factor que faz com que por vez a DA seja desenvolvida em dois estágios (Yu e Fang, 2002). Os valores de pH abaixo de 6 ou acima de 8 são restritivos e consideravelmente tóxicos para as bactérias formadoras de metano.

Para manter um pH estável, é necessário um alto nível de alcalinidade isto porque a mesma alcalinidade serve como um tampão que evita mudanças bruscas no pH. Assim sendo quando são adicionados compostos que aumentam substancialmente a alcalinidade, o pH também será afectado numa proporção directa, contudo a sobredosagem destes compostos não irá necessariamente resultar num rápido aumento do pH (Gerardi, 2003).

Existem também compostos que quando adicionados ao conteúdo do reactor são capazes de fazer variar o pH sem notar-se mudanças significativas na alcalinidade, como por exemplo o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). (Gerardi, 2003).

### **2.3.5. Presença de Substâncias Inibidoras/Material Tóxico**

As lamas dependendo da proveniência do afluente podem ter maior ou menor quantidade de resíduos tóxicos ou inibidores às bactérias responsáveis pela DA. A inibição pode também ser originada durante a própria digestão devido as reacções resultantes (Appels *et al.*, 2008).

A maior ou menor toxicidade dos compostos varia consoante a gama das suas concentrações e consoante as suas características (Tabela 2). A avaliação da toxicidade dos resíduos pode ser realizada a partir de 3 factores (Gerardi, 2003):

- A capacidade das bactérias de se adaptarem a uma concentração constante de resíduos tóxicos;
- A ausência ou presença de outros resíduos tóxicos;
- As mudanças nas condições operacionais.

A toxicidade dos resíduos pode ser aguda, quando as bactérias responsáveis pela DA entram em contacto com resíduos de elevada concentração durante um curto período, ou crónica, quando as mesmas bactérias responsáveis pela DA são expostas a resíduos tóxicos de forma gradual e prolongada.

É desejável que a toxicidade crónica seja inexistente nos digestores anaeróbios, assim sendo a sua mitigação caso ela exista pode ocorrer de duas formas, sendo a primeira a degradação dos compostos responsáveis ou ainda a criação de condições para que as bactérias se adaptem a tais condições (Metcalf e Eddy, 2014).

Tabela 2: Substâncias tóxicas orgânicas e inorgânicas para DA

(Adaptado Metcalf e Eddy, 2003)

<i>Substância</i>	<i>Origem</i>	<i>Quantidade inibidora (g/L)</i>	<i>Características</i>	<i>Referências</i>
Amónia (NH <sub>3</sub> )	- Efluentes de batedouros; - Matéria rica em proteína	1,7 – 14	- Inibição directamente proporcional à concentração; - Dependente de condições ambientais (pH e temperatura);	- (Chen <i>et al.</i> , 2008); - (Appels <i>et al.</i> , 2008)
Sulfureto de Hidrogénio (H <sub>2</sub> S)	AR de indústrias como de papel; de cerveja, de óleos comestíveis e citrinos, etc.	0,1– 0,8	-Inibição devido a presença de BRS* que competem com as bactérias metanogénicas pelos nutrientes acessíveis	- (O’Flaherty <i>et al.</i> , 1998) - (Chen <i>et al.</i> , 2008)
Metais	- Degradação de matéria orgânica - Compostos adicionados para estabilizar o pH no reactor	Sódio (Na <sup>+</sup> ) - 0,35 – 0,8	-Inibição da actividade das bactérias metanogénicas em condições mesófilas	(Chen <i>et al.</i> , 2008); (Appels <i>et al.</i> , 2008); (Kwietniewska e Tys, 2014)
		Potássio (K <sup>+</sup> ) - 2,5 - 12	- Inibição do processo mais visível em condições termófilas	
		Cálcio (Ca <sup>2+</sup> ) - 2,5 - 8	- Inibição da metanogénese devido a descamação das bactérias	
Metais Pesados	- AR de indústrias; - Lixiviação de canalizações	Zinco (Zn <sup>2+</sup> ) - 0,001 (solúvel)	- Uma das principais causas de falha de digestores; - Não são biodegradáveis	(Chen <i>et al.</i> , 2008) (Kwietniewska e Tys, 2014)
		Cobre (Cu <sup>2+</sup> ) – 0,0005 (solúvel)		
		Níquel (Ni <sup>2+</sup> ) – 0,03		
		Crómio (Cr <sup>3+</sup> ) - 0,18 – 0,24		
AOV	- Formados durante a acidogénese na DA	Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) - > 0,8	- Inibição da DA pela redução do pH e da alcalinidade	(Neshat <i>et al.</i> , 2017); (Kwietniewska e Tys, 2014)
		Ácido butírico (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> ) - > 6,5		
		Ácido valérico (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> ) - > 6,5		

- BRS – Bactérias Redutoras de Sulfatos

### **2.3.6. Biodisponibilidade de nutrientes**

Os nutrientes presentes nas lamas podem ser classificados em macronutrientes e micronutrientes, sendo o primeiro relativo a nutrientes que são requeridos pelas bactérias em quantidades relativamente elevadas e o segundo referente a nutrientes que as bactérias necessitam em quantidades menores comparativamente aos macronutrientes (Vintiloiu *et al.*, 2012).

Os macronutrientes mais usados pelas bactérias são o azoto (N) e o fósforo (P), estes nutrientes são disponibilizados na forma de amoníaco ( $\text{NH}_4$ ) e ortofosfato-fósforo ( $\text{HPO}_4^- - \text{P}$ ) e os mesmos só se disponibilizam se dissolvidos. Segundo Gerardi (2003), a determinação da quantidade óptima tanto do azoto como do fósforo pode ser realizada com base em dois métodos:

- 1) Cálculo da quantidade de nutrientes que deve estar presente nas lamas na alimentação do digestor.
- 2) Determinação das concentrações dos nutrientes solúveis no digerido (efluente)

Gerardi (2003) ainda defende que a variação das concentrações destes nutrientes está intimamente ligada ao  $\text{TRS}$  e as características das lamas, assim sendo, as concentrações típicas de azoto e fósforo encontram-se entre as 10 – 13 e 2 – 2,6 mg por 100 mg de biomassa, respectivamente.

Os micronutrientes mais usados pelas bactérias são o cobalto (Co), ferro (Fe), o níquel (Ni) e o sulfureto ( $\text{S}^{2-}$ ). A necessidade da sua existência nas lamas é devida as bactérias metanogénicas, que necessitam dos mesmos para poderem converter o acetato em metano. Outros micronutrientes também podem ser usados, tais como o tungsténio (W) e o selénio (Se) (Vintiloiu *et al.*, 2012).

---

Embora, normalmente, a quantidade de micronutrientes presente nas lamas seja suficiente, a realização de medições não deve ser descartada, isto porque para além dos mesmos desempenharem um papel importante na produção do metano, eles também conseguem evitar transtornos causados nos digestores devido a concentrações de AOV indesejadas. Caso a adição se demostre necessária, a mesma pode ser realizada usando extracto de fermento rico em aminoácidos e minerais à mistura (Elango *et al.*, 2007).



### 3. Biogás

#### 3.1. Definição

É denominado por biogás a mistura de gases obtidos no processo da DA. O biogás é maioritariamente composto por metano ( $\text{CH}_4$ ) cerca de 50 – 75 %, e pelo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) cerca de 25 – 45 %, podendo também apresentar outros gases, como o sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), o azoto ( $\text{N}_2$ ), entre outros (Tabela 3).

Tabela 3: Composição típica do biogás proveniente da digestão anaeróbia de lamas

$\text{CH}_4$ (%)	$\text{CO}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{O}$ (%)	$\text{O}_2$ (%)	$\text{N}_2$ (%)	$\text{NH}_3$ (%)	$\text{H}_2$ (%)	$\text{H}_2\text{S}$ (%)	Referências
50 - 75	25 - 45	2 (20 °C) 7 (40 °C)	<2	<2	<1	<1	<1	Al Seadi <i>et al.</i> , 2008
40 - 75	15 - 60	-	0 - 1	0 - 2	<1	-	0,005 - 2	Allengue e Hinge, 2012
70 - 80	20 - 30	-	-	-	-	-	-	Chernicharo, 2007
50 - 70	25 - 50	-	-	0,3 - 3	-	1 - 5	-	Mohamed Ibrahim <i>et al.</i> , 2015
50 - 65	30 - 45	-	-	-	-	-	100 – 10000 ppm	Tippayawong e Thanompongchart, 2010

#### 3.2. Produção

A produção de biogás pode ser estimada com base na quantidade de sólidos totais voláteis (SV) das lamas, assim sendo, consegue-se obter entre 0,75 – 1,12 m<sup>3</sup> de biogás/kg SV (Metcalf e Eddy, 2014). A composição das lamas irá fazer variar a quantidade de biogás produzido principalmente para substratos com fracções significativas de proteínas, gorduras e hidratos de carbono (Tabela 4) (Coura, 2015).

Tabela 4: Produção do biogás em função de diferentes tipos de substrato

Tipo de substrato	Biogás (m <sup>3</sup> /kg ST)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	Referências
Proteína bruta	0,7	70 - 71	29 - 30	(Al Seadi <i>et al.</i> , 2008)
	0,7	70	30	(Gray, 2004)
Gordura bruta	1,2 – 1,25	67 - 68	32 - 33	(Al Seadi <i>et al.</i> , 2008)
	1,2	67	33	(Gray, 2004)
Carboidrato bruta	0,79 – 0,8	50	50	(Al Seadi <i>et al.</i> , 2008)
	0,8	50	50	(Gray, 2004)

Embora a quantidade de biogás produzido a partir de matéria orgânica rica em gordura seja maior, a percentagem de CH<sub>4</sub> presente no mesmo gás é inferior relativamente ao que seria produzido caso a matéria orgânica digerida no processo fosse maioritariamente composta por proteínas.

A aplicabilidade do biogás em qualquer actividade é determinada pelo seu poder calorífico, podendo o mesmo ser superior ou inferior. O poder calorífico superior (PCS) resulta da soma da energia libertada na forma de calor e na energia usada para a vaporização da água, enquanto o poder calorífico inferior (PCI) somente conta com a primeira forma de energia (Gray, 2004). Tais valores podem ser estimados com base em diversas expressões das quais, algumas são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Fórmulas de cálculo do PCS e do PCI

PCS	Unid	Condições	Referências
(370*M) (3)	kJ/m <sup>3</sup>	T = 15,5 °C; P = 1 atm	(Gray, 2004)
Fórmula de Dulong: $8137 * C + 34\,500 * \left( H - \frac{O+N}{8} \right) + 2250 * S + 43\,125$ (4)	kcal/kg	T = 25 °C	(Fantini, 2017)
PCI			
(334*M) (5)	kJ/m <sup>3</sup>	T = 15,5 °C; P = 1 atm	(Gray, 2004)
Fórmula de Dulong: $34,061 * C + 122,43 * H - 18,052 * (O+N) + 9,419 * S + 180,52$ (6)	MJ/kg	T = 25 °C	(Fantini, 2017)

NOTA: M – fracção volúmica do CH<sub>4</sub> no biogás; C, H, O, N e S – fracções mássicas dos elementos no biogás.

Segundo Hosseini e Wahid (2013), o biogás com uma percentagem de CH<sub>4</sub> compreendida entre 40 – 80 % possui um PCI entre os 13 720 – 27 440 kJ/m<sup>3</sup>.

Metcalf e Eddy (2014) defendem que, para um biogás com uma quantidade de CH<sub>4</sub> de aproximadamente 65 %, o seu PCI é sensivelmente 22 400 kJ/m<sup>3</sup>, mais baixo que PCI apresentado pelo gás natural (37 300 kJ/m<sup>3</sup>), mesmo assim o mesmo ainda pode ser valorizado energética (ex. agitação de reactores) e calorificamente (aquecimento dos reactores).

### **3.3. Purificação**

A purificação do biogás é realizada com o intuito principal de remover compostos que podem por em causa uma aplicação posterior, nomeadamente o H<sub>2</sub>S, gás tóxico e corrosivo. Geralmente com teores de H<sub>2</sub>S superiores a 50 ppm, deve-se aplicar a dessulfuração do biogás (PER, 2018). A purificação também pode ser utilizada para remover outros componentes do biogás, como o CO<sub>2</sub>, permitindo deste modo aumentar o seu PCI. Assim a purificação pode ser dividida no aumento da concentração de CH<sub>4</sub> e na remoção de H<sub>2</sub>S (Allengue e Hinge, 2012).

#### **Aumento da concentração de metano**

Este processo baseia-se na retirada duma parte considerável do CO<sub>2</sub>, de modo a aumentar a concentração de CH<sub>4</sub>, ajustando assim a produção energética (Sun *et al.*, 2015).

Os métodos usados para a concentração do CH<sub>4</sub> variam consoante certos aspectos, tais como a composição do biogás, a quantidade ou volume de CO<sub>2</sub> ou outro composto a ser removido, a eficiência e o consumo energético (Sun *et al.*, 2015), sendo os mais comuns apresentados na Tabela 6.

---

Tabela 6: Métodos de aumento da concentração do CH<sub>4</sub>

<i>Método</i>	<i>Processo</i>	<i>CH<sub>4</sub></i> <i>(%)</i>	<i>Principais</i> <i>Impurezas</i> <i>removidas</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>	<i>Referência</i>
Lavagem com água	Dissolução dos gases na água. Pode ter pré-remoção do H <sub>2</sub> S	80 – 99	CO <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> H <sub>2</sub> S	- Barato; - Baixo uso de energia	- Grande quantidade de água necessária; - Necessidade de secagem do CH <sub>4</sub> ; - Perda de CH <sub>4</sub> acentuada durante o processo; - Possível formação de espuma.	1-Allengue e Hinge, 2012; 2-Sun <i>et al.</i> , 2015
Adsorção por variação da pressão (PSA)	Adsorção de moléculas dos gases a uma superfície sólida dependendo do seu tamanho	96 – 98	CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	- Baixo uso de energia - Tecnologia relativamente barata; - Sem necessidade de aquecimento	- Perda de CH <sub>4</sub> acentuada durante o processo; - Controlo extensivo necessário.	1-Allengue e Hinge, 2012; 2-Sun <i>et al.</i> , 2015
Separação Criogénica	Condensação seguida de uma destilação a baixas temperaturas	>97	CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	- Elevada quantidade de CH <sub>4</sub> conseguido, - Elevada quantidade de CO <sub>2</sub> obtido como subproduto;	- Investimento relativamente elevado; - Necessidade de remoção prévia de H <sub>2</sub> S - Tecnicamente exigente.	1-Allengue e Hinge, 2012; 2-Jonsson e Westman, 2011 3-Sun <i>et al.</i> , 2015
Separação por Membrana	Passagem das moléculas dos gases por uma fina membrana. As moléculas de CH <sub>4</sub> por serem maiores, ficam retiradas	98 – 99	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> S NH <sub>3</sub>	- Baixo custo; - Elevada fiabilidade e eficiência; - Nenhum aquecimento necessário;	- Várias etapas são necessárias para um melhor resultado; - O custo das membranas elevado; - Necessidade de remoção prévia de H <sub>2</sub> S	1-Allengue e Hinge, 2012 2-Deng e Hägg, 2010 3 - Al Seadi <i>et al.</i> , 2008

### **Remoção do sulfureto de hidrogénio**

O H<sub>2</sub>S que além do cheiro desagradável, é corrosivo aos equipamentos que são usados durante o processo da queima do biogás (Coimbra-Araújo *et al.*, 2014). Esta remoção pode ser realizada a partir de procedimentos como:

- **Adsorção**: é o processo onde a remoção do H<sub>2</sub>S é feita a partir do aprisionamento das suas moléculas numa superfície sólida, esta superfície geralmente é feita de carvão activado (o adsorvente mais aplicado), alumínio activado, gel de sílica, entre outros materiais (Appels *et al.*, 2008).
- **Biofiltros**: neste processo o biogás atravessa um manto formado por uma diversidade de microrganismos (biofilme) que consomem o H<sub>2</sub>S presente no mesmo, como forma de obtenção de energia, produzindo no final do processo o enxofre, caso a oxidação seja parcial, e sulfato, caso seja total (Allengue e Hinge, 2012).
- **Inserção de ar/oxigénio no digestor**: um processo consideravelmente simples e eficaz, onde uma pequena quantidade de oxigénio, geralmente 2 – 8 %, (Allengue e Hinge, 2012; Al Seadi *et al.*, 2008) é introduzida no digestor, com o auxílio de bombas, originando uma oxidação do H<sub>2</sub>S através de bactérias *Thiobacillus* que culmina com a formação do enxofre (S).

### **Remoção do vapor de água**

**Secagem**: Uma das formas mais simples e comum usada para efeito, é a condensação do vapor, onde a mesma água é posteriormente, removida e pode ainda ser reaproveitada para outros fins (Allengue e Hinge, 2012). Esta condensação pode ser feita ao nível das tubagens de biogás, onde a eficiência da operação é maior caso a mesmas tubagens estejam enterradas, e pode ainda ser realizada através de condensadores de gases que funcionam a base de energia eléctrica (Al Seadi *et al.*, 2008).

### 3.4. Armazenamento

Pelo facto de se verificarem oscilações diárias na produção do biogás, o seu armazenamento é crucial e geralmente tal aspecto é conseguido com o uso de reservatórios, denominados por gasómetros. Os gasómetros devem impedir o contacto do biogás com gases exteriores, radiações ultravioletas e minimizar as variações de temperaturas e pressão (GIZ *et al.*, 2010). Os gasómetros podem ser de dois tipos sendo:

- Gasómetros integrados: neste tipo, o próprio digestor assume também a função de gasómetro. Geralmente, isto é observado em digestores cilíndricos onde, no topo do mesmo, é colocada uma capa que irá recolher o biogás produzido, tal capa pode ser flutuante, fixa ou de membrana, sendo a última mais usada (Figura 3). A capa de membrana assenta sobre uma estrutura quando sem encontra vazia e irá inflar em conformidade com o volume que o biogás for a ocupar (Metcalf e Eddy, 2014).

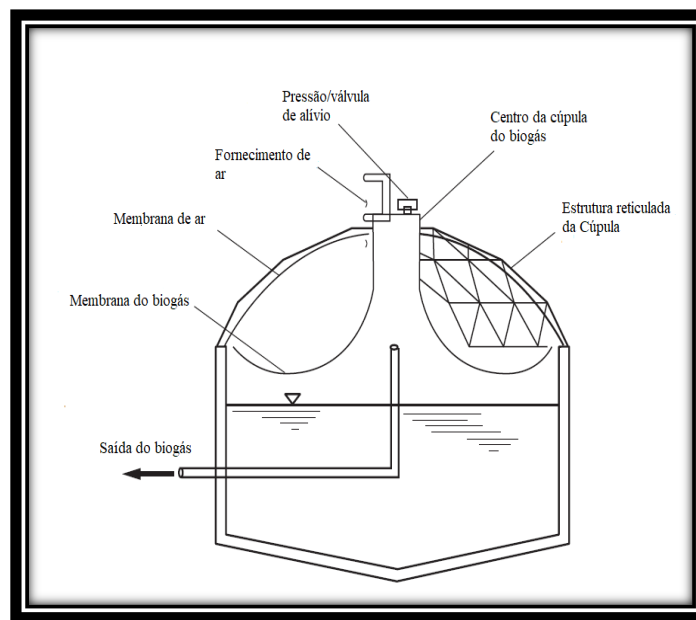


Figura 3: Exemplo de um gasómetro de membrana  
(Adaptado de Metcalf e Eddy, 2003)

- Gasómetros externos: como o nome já sugere, são reservatórios externos ao digestor (Figura 4) que geralmente, armazenam o biogás a baixas pressões (0,5 a 30 mbar). O

material usado para a sua concepção é usualmente o PVC, podendo também ser borracha butílica, liga de polietileno e polipropileno (GIZ *et al.*, 2010).



Figura 4: Exemplo de um gasómetro externo

Quando o gasómetro se encontra completamente cheio, ou quando o biogás produzido não satisfaz os requisitos estipulados, o mesmo deve ser eliminado (queimado) de forma segura, numa tocha ou caldeira (Figura 5) (Davis, 2003).



Figura 5: Caldeira para queima do biogás

(Adaptado de Zeeco, 2018)

### 3.5. Aplicação

Actualmente o biogás tem diversas aplicações, algumas são apresentadas seguidamente:

- Energia Térmica: é a forma mais simples de aplicação do biogás, uma vez que a queima directa do mesmo resulta na geração de calor que por sua vez pode ser usado tanto para fins domésticos assim como industriais, o caso mais prático da sua aplicação é exactamente o aquecimento das lamas a digerir na DA (Rutz *et al.*, 2015). Outros exemplos são sistemas de aquecimento de água, fogões e sistemas de refrigeração (Coimbra-Araújo *et al.*, 2014).

A Alemanha é um dos países europeus líderes no consumo de energia térmica produzida pelo biogás, representando cerca de 50 % do total deste consumo, seguida da Itália e da França (Scarlat *et al.*, 2018).

- Energia Eléctrica: geralmente a geração de energia eléctrica com base no biogás é realizada paralelamente à geração da energia térmica (cogeração). Esta operação é comumente realizada em unidades designadas por centrais de geração combinada de calor e energia (Al Seadi *et al.*, 2008). Tal energia pode ser aplicada para o autoconsumo nas próprias ETAR, de modo a reduzir custos associados e sua pegada de emissão de gases de efeito estufa. Em certos países este processo é incentivado, para que seja possível fornecer a energia produzida a rede nacional, reduzindo assim tarifas relacionadas (Coimbra-Araújo *et al.*, 2014).

Na Europa tem-se registado uma crescente produção de energia eléctrica através do biogás, para 2015 produziu-se cerca de 61 TWh, ou seja, 40 % a mais em relação a 2005 (Scarlat *et al.*, 2018).

- Combustível para veículos: considerada uma das formas de aplicação do biogás mais promissoras, que pode trazer consigo benefícios económicos notáveis, em 2015 registou-se um aumento de cerca de 5,4 % comparativamente a 2005 (Scarlat *et al.*, 2018). O biogás pode ser considerado similar ao gás natural, porém diferencia-se no facto da sua produção poder ser realizada a partir de uma vasta gama de resíduos biodegradáveis. Contudo o gás natural apresenta maior poder calórico e ausência de H<sub>2</sub>S, o que lhe confere uma vantagem significativa. O combustível obtido pode ser aplicado em certos

veículos dotados de motores bicompostíveis e até em certos veículos pesados (Al Seadi *et al.*, 2008).

## 4. Digestor Anaeróbio

### 4.1. Breve historial

A digestão anaeróbia é comumente aplicada a lamas primárias e secundárias oriundas do tratamento de AR. O primeiro digestor a ser aplicado em estações de tratamento foi desenvolvido no ano de 1881 por Mouras, sendo caracterizado como uma versão embrionária de um tanque séptico. Pois em 1895, Cameron desenvolveu um tanque consideravelmente similar ao anterior, porém com melhor eficiência de tratamento, o qual foi apelidado de tanque séptico. Tal tanque possuía a função de decantador-digestor, nos quais os sólidos sedimentáveis eram retidos e digeridos, no fundo, pelas lamas anaeróbicas (Figura 6). Devido ao sucesso alcançado por tal tecnologia, o governo de Exeter, no ano de 1897, aprovou o tratamento das AR de toda cidade com base no mesmo tanque (Abbasi e Tauseef, 2012).

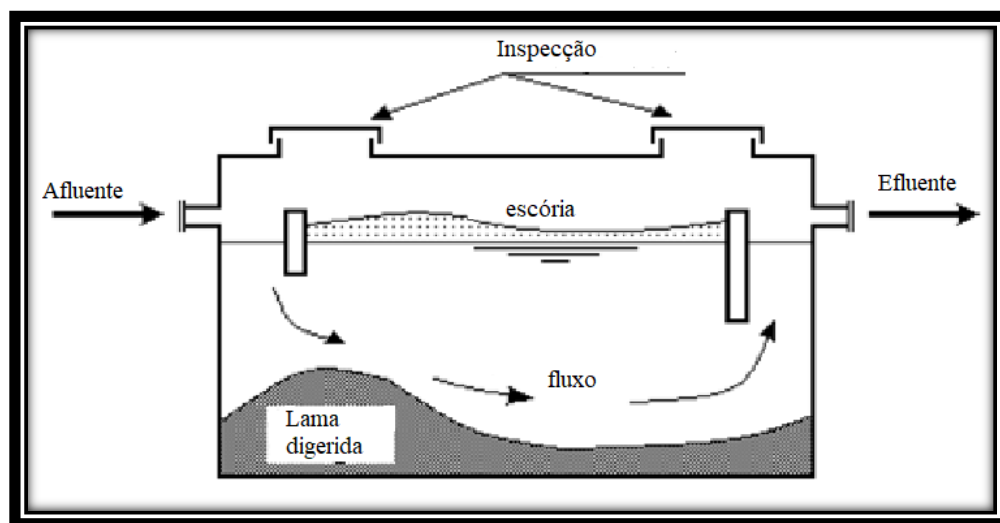


Figura 6: Tanque séptico

(Adaptado de Chernicharo, 2007)

O seguinte avanço significativo desta tecnologia foi o tanque hidrolítico de Travis, desenvolvido por W.O Travis, em 1904, onde implementou a ideia de um químico denominado W. H. Clarck, que consistia na realização da fermentação em um tanque separado. E posteriormente (1906) surge o primeiro tanque de Imhoff, desenvolvido por K. Imhoff, como uma melhoria do tanque de Travis (Metcalf e Eddy, 2014).

Em 1921, na cidade de Guandong – China, observou-se um uso mais comercial do biogás, isto graças a Guorui Liu criou um digestor de 8 m<sup>3</sup> com funcionamento a base de lixo doméstico, de modo a fornecer energia térmica e eléctrica, para a sua família. E no ano de 1929, criou a empresa Zhonghua Guorui Gas Lamp Company em Shantou, e posteriormente em Shanghai em 1931, objectivando a popularizar a sua invenção (He, 2010).

O aumento da quantidade das lamas das ETAR e a composição apresentada pelas mesmas, originou uma diversificação nos tipos de digestores usados, em termos do número de tanques necessários, da utilização de dispositivos de aquecimento do substrato, da necessidade de sistemas de agitação, entre outros aspectos (Abbasi e Tauseef, 2012). Um dos primeiros digestores aquecidos, por exemplo, surgiu no ano de 1927 na Alemanha (Metcalf e Eddy, 2014). Nos anos 60, o tipo de reactor que mais se empregou foi o reator contínuo de mistura completa, designado em inglês por *continuous stirred tank reactor* (CSTR). E nos últimos 40 anos desenvolveram-se várias configurações de digestores como o digestor anaeróbio de fluxo ascendente designado em inglês por *up flow anaerobic sludge bed* (UASB), o digestor de leito granular expandido denominado em inglês por *expanded granular sludge bed* (EGSB), o filtro anaeróbio denominado em inglês por *anaerobic filter* (AF), entre outros buscando sempre melhorarias no processo (Van Lier *et al.*, 2015).

## 4.2. Classificação

Os digestores anaeróbios podem ser classificados com base em vários critérios nomeadamente, forma do tanque, forma de contacto entre a biomassa e a substrato, temperatura do processo, ao número de estágios no processo, ao tipo de alimentação, ao teor de matéria seca presente nos substratos e a tipo de mistura no digestor.

### Forma do Tanque

O digestor anaeróbio pode ser cilíndrico ou oval (Figura 7). Os digestores cilíndricos possuem um diâmetro entre os 6 e 40 m. A profundidade do tanque pode chegar aos 14 m e o nível do líquido não deve ser inferior a 7,5 m nas paredes laterais, devido a dificuldades de agitação. Para tanques com um mecanismo de sucção para a remoção da lama digerida, a inclinação, é no mínimo de 1:12 (vertical para horizontal) na parte inferior do mesmo e para digestores que em

que é aplicada a gravidade para realizar a mesma operação, a inclinação mínima é de 1:6. Paredes laterais com inclinações superiores a 1:3, embora desejáveis para remoção de areia, são difíceis de construir e difíceis de limpar. Estes digestores, normalmente, conseguem digerir um volume considerável de substrato e podem acumular uma quantidade significativa de biogás, desempenhando também a função de gasómetro (Metcalf e Eddy, 2014). No entanto também é possível a utilização de digestores cilíndricos sem a função de gasómetro.

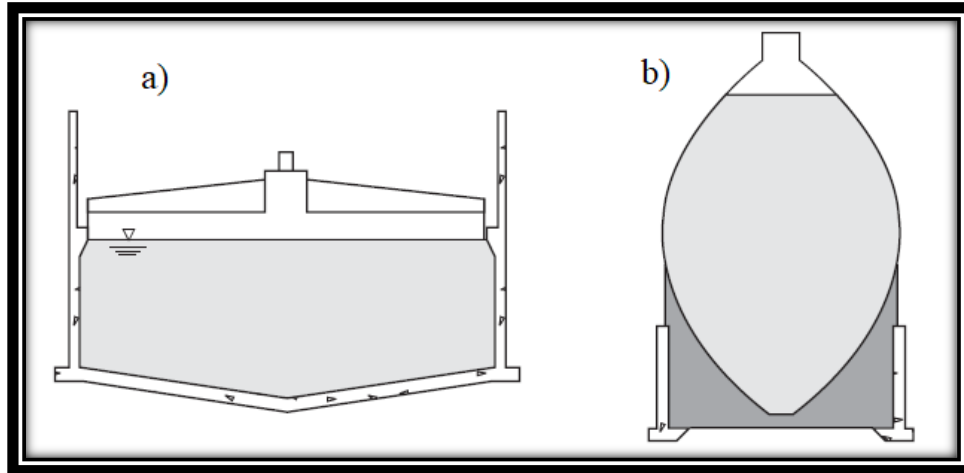


Figura 7: Digestor: a) cilíndrico e b) oval

(Adaptada de Metcalf e Eddy, 2014)

Os digestores ovais surgem como solução para os problemas relativos à agitação apresentados pelos digestores cilíndricos. Para além de tal vantagem estes digestores também proporcionam um melhor controlo da camada de espuma, uma biomassa mais homogénea, menor acumulação de areia e ocupam um espaço reduzido (Zingoni, 2001). Porém devido ao formato do mesmo, a fundação deve ser concebida tendo em atenção fenómenos sísmicos, o que contribui para maiores custos de construção e também tais digestor, raramente são concebidos para desempenhar a também função de gasómetro, o que implica a construção de um tanque externo de armazenamento (Jie Li *et al.*, 2007).

#### Forma de contacto entre a biomassa e o substrato

Os digestores anaeróbios, no que diz respeito ao contacto estabelecido entre a biomassa e o substrato a ser digerido, dividem-se em digestores de biomassa fixa e digestores de biomassa suspensa. No primeiro tipo de digestor a DA, é realizada por microrganismos que encontram-se

aderidos a um suporte, este mecanismo origina a formação de uma camada denominada de biofilme. Já no segundo, a biomassa encontra-se suspensa, na forma de grão e flocos, dentro do digestor (GIZ *et al.*, 2010).

#### Temperatura do processo

Os digestores anaeróbios à escala industrial, normalmente funcionam em duas gamas de temperatura, a mesófila (30 a 38 °C) e a termófila (50 a 57° C). Preferencialmente usam-se digestores dentro da gama mesófila, por acarretarem custos associados mais reduzidos. A utilização de digestores na gama termófila é justificável quando a população de microrganismos patogénicos presentes no substrato é consideravelmente alta, este tipo de digestor apesar de trazer consigo custos relativamente elevados, também demonstra-se como sendo vantajoso, pois traduz-se em menores tempos de retenção relativamente aos digestores da gama mesófila (Vögeli *et al.*, 2014; Appels *et al.*, 2008).

#### Número de estágios no processo

Os digestores podem ser de estágio único, de dois estágios ou de múltiplos estágios. A diferença entre as designações reside no número de reactores envolvidos no processo. Geralmente são utilizados mais de um reactor, quando existem no processo reacções bioquímicas que não compartilham favoravelmente as mesmas condições ambientais (GIZ *et al.*, 2010).

#### Tipo de Alimentação

A alimentação dos digestores pode ser realizada de duas formas sendo elas contínua e descontínua (*batch*). Na alimentação contínua é fornecido ao digestor, a matéria a ser digerida na medida que a matéria já digerida vai sendo retirada do mesmo, o digestor somente é esvaziado por completo por questões de reparação. Na alimentação descontínua fornece-se ao digestor uma determinada quantidade matéria a ser digerida, atribui-se um tempo para que o mesmo consiga realizar o processo e depois a matéria digerida é retirada por completo para que possa ser introduzida uma nova quantidade (Vögeli *et al.*, 2014).

Preferencialmente opta-se pela alimentação contínua, uma vez que o reinício do ciclo verificado durante a alimentação descontínua, provoca uma flutuação na produção do biogás e na qualidade do mesmo (GIZ *et al.*, 2010).

### Teor de sólidos

Quanto ao teor de matéria seca presente (ou ST) no substrato os digestores podem ser divididos em dois grupos, sendo eles os digestores responsáveis pela digestão húmida e digestores responsáveis pela digestão a seco. Considera-se digestão húmida a realizada com substratos com um máximo de 15 % de ST na sua constituição, e a digestão a seco a realizada com substratos entre os 20 até 40 % de ST (Vögeli *et al.*, 2014; Vandevivere *et al.*, 2002). É possível ainda considerar uma via intermédia, designada por semi-seca, com ST entre 16 e 22 % (Gunaseelan, 1997).

A digestão a seco apresenta-se como sendo mais vantajosa, uma vez que requer digestores de menor volume, menor dispêndio de energia caso o aquecimento se demostre necessário e o produto final pode ser mais facilmente empregue como fertilizante comparativamente ao obtido pela digestão húmida (Al Seadi *et al.*, 2008).

### Sistema de agitação do digestor

Os digestores podem ser classificados em digestores com e sem presença de dispositivo de mistura na sua constituição. Embora os digestores sem tais dispositivos possam apresentar um certo grau de mistura devido a subida das bolhas dos gases formados durante o processo, esta mistura não é a adequada ao processo, principalmente quando trata-se de volumes consideráveis de matéria a ser digerida (Appels *et al.*, 2008).

A mistura dentro num digestor pode ser realizada de três formas distintas, podendo ser com base em um sistema de recirculação e/ou injeção de biogás, ou num sistema de bombeamento mecânico ou ainda baseado num sistema de agitação mecânica. O primeiro sistema assenta-se no mesmo princípio observado para digestores sem dispositivos de mistura, contudo as bolhas são fornecidas ao sistema por meio de difusores que por sua vez recebem o biogás vindo de um compressor com pressão suficiente para que a mistura possa ser eficiente, como é possível observar na Figura 8 (Al Seadi *et al.*, 2008; Appels *et al.*, 2008).

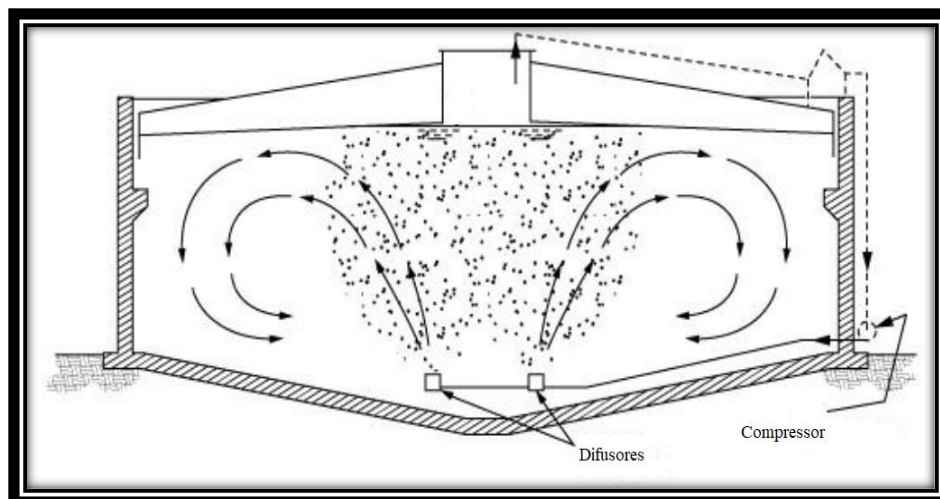


Figura 8: Digestor anaeróbio com sistema de injeção de gás

(Adaptado de Schlicht, 1999)

O dispositivo de mistura baseado num sistema de bombeamento mecânico (Figura 9), está vinculado a recirculação do substrato no digestor, pois se assim for realizado é garantida a suspensão prolonga do mesmo, o que possibilita uma melhor mistura. Este dispositivo é considerado o maior consumidor de energia (Al Seadi *et al.*, 2008).

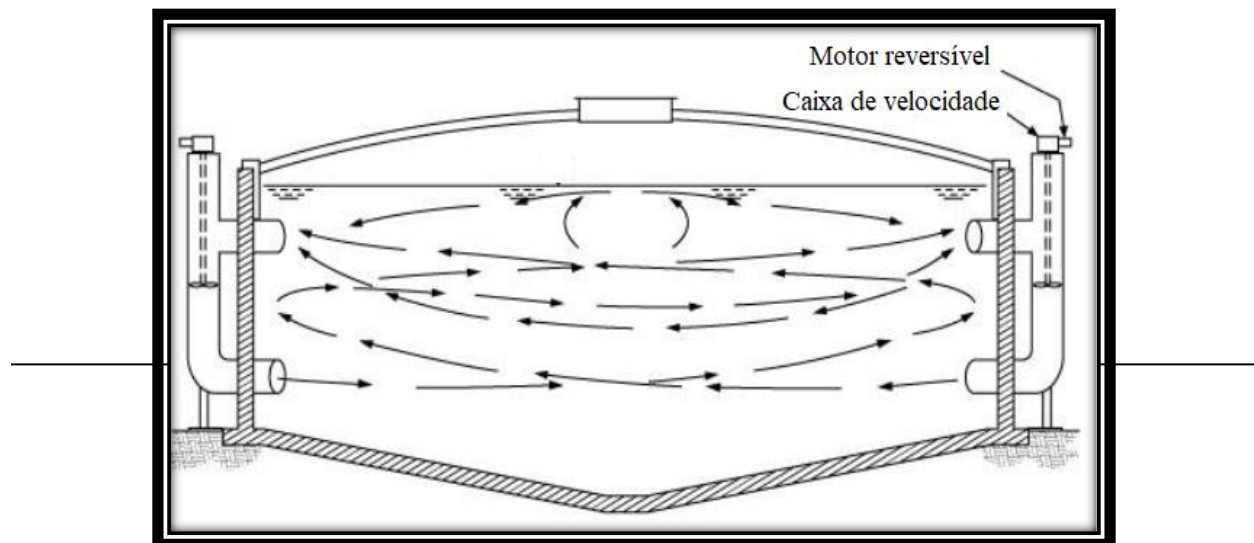


Figura 9: Digestor anaeróbio com sistema de bombeamento

(Adaptado de Schlicht, 1999)

A mistura baseada num sistema de agitação mecânica consiste na implantação de um agitador dotado de pás giratórias que serão as responsáveis pela mistura (Metcalf e Eddy, 2014). Tais pás

têm características personalizadas de acordo com digestor, o local de implementação do agitador, e a velocidade de rotação varia consoante o teor de sólidos presente na mistura (Figura 10). É considerado o dispositivo de mistura menos consumidor de energia (Appels *et al.*, 2008).

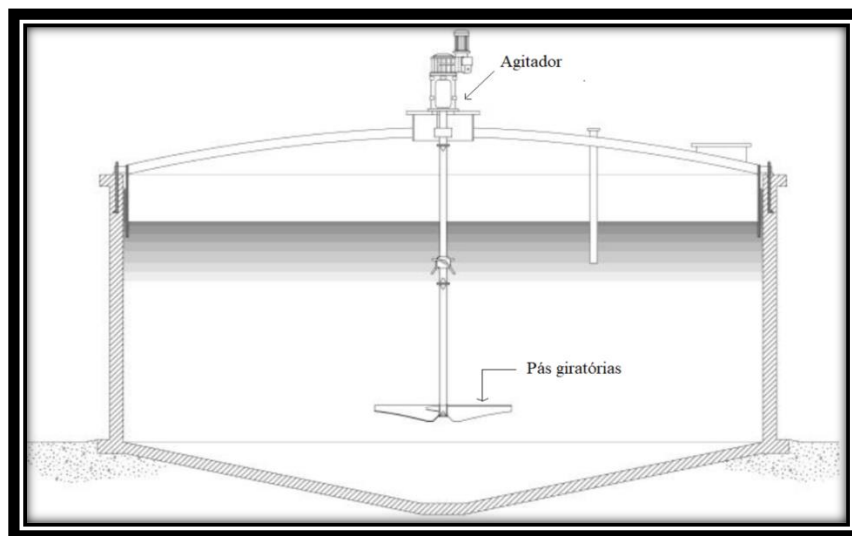


Figura 10: Digestor anaeróbio com sistema de agitação mecânica

(Adaptado de Schlicht, 1999)

Os digestores anaeróbios de biomassa fixa não são dotados de dispositivos de mistura, uma vez que os microrganismos encontram-se aderidos a um suporte e a agitação poderia originar o seu desprendimento.

### 4.3. Exemplos de Digestores Anaeróbios

#### Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)

O reactor anaeróbio de fluxo ascendente, designado em inglês por *Up Flow Anaerobic Sludge Bed* (UASB) é um reactor de biomassa suspensa, com um único estágio, onde a alimentação no mesmo é realizada de forma contínua e geralmente não é dotado de nenhum dispositivo de mistura (Figura 11). Estes digestores são comumente utilizados para o tratamento de lamas, sendo a mesma introduzida de forma ascendente, o que influencia na mistura do sistema (Chernicharo, 2007).

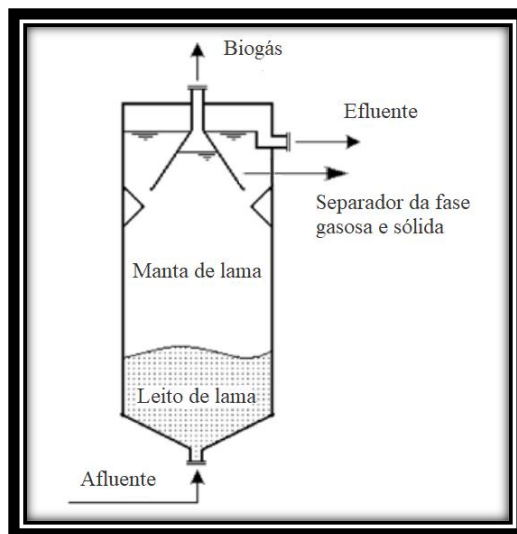


Figura 11: Exemplo de um digestor UASB

(Adaptado de Álvarez e Soto, 2011)

A DA é realizada ao longo de todo o digestor, pois a entrada do substrato é realizada na parte inferior e a saída do produto digerido é realizada na parte superior do mesmo. Ao longo do percurso a matéria orgânica atravessa duas zonas principais estratificadas devido ao peso da biomassa presente dentro no digestor. (Álvarez e Soto, 2011) O UASB é geralmente equipado por um dispositivo separador da fase gasosa e sólida, impedindo assim a saída da matéria sólida pelo efluente do digestor favorecendo a sua sedimentação e facilitando a libertação do biogás produzido (Álvarez e Soto, 2011).

#### Digestor de leito granular expandido (EGSB)

O digestor de leito granular expandido, designado em inglês por *Expanded Granular Sludge Bed* (EGSB) é similar ao UASB, porém diferenciam-se no facto de possuir taxas hidráulicas mais elevadas (Figura 12). Com isto garante-se maior mistura no sistema, o que por sua vez possibilita maior contacto entre a biomassa e o substrato a ser digerido e elimina uma parte considerável das zonas mortas (Tay *et al.*, 2010). As elevadas taxas hidráulicas conseguidas neste digestor (5 – 10 m/h) são oriundas de um sistema de recirculação do efluente, que mobiliza a parte superior do sistema, diferentemente dos digestores UASB. Uma consequência positiva destas taxas é a possibilidade de se poder desenvolver digestores com uma altura significativa (até 20 m) e, oportunamente, diâmetro menor, o que é vantajoso em instalações com falta de espaço para desenvolver tal actividade (Chernicharo, 2007)

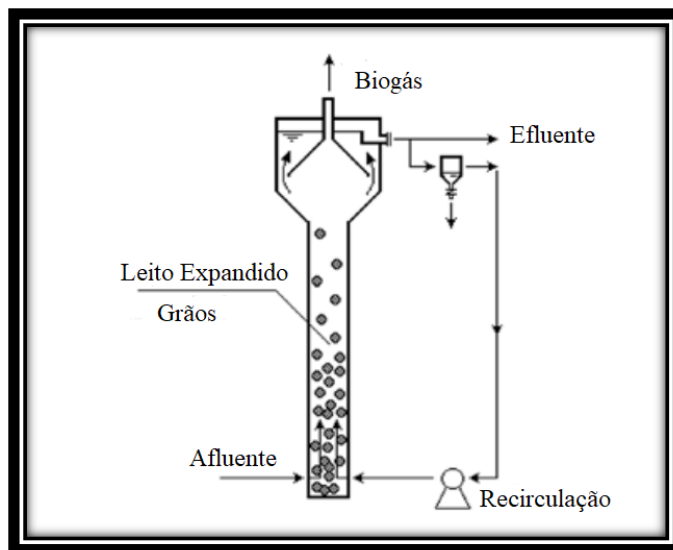


Figura 12: Digestor de Leito Granular Expandido

(Adaptado de Chernicharo, 2007)

### Digestor CSTR

O reactor de tanque agitado contínuo, designados em inglês por *Continuous Stirring Tank Reactor* (CSTR), trata-se de um digestor dotado de um sistema de agitação que objectiva garantir uma composição do substrato menor variante em função da posição que ocupar dentro do reactor (Figura 13) (Tay *et al.*, 2010).

Presume-se que, idealmente, a composição de um substrato varia somente na entrada do digestor, uma vez que a mistura neste ponto, é inevitável, todavia dentro do mesmo ocorrem também variações devido a reacções entre os diferentes constituintes do substrato. Assim sendo, a ideia da agitação contínua é evitar esta situação, para além de uniformizar a distribuição de nutrientes e de calor, evitar a formação de camadas dentro do digestor e permitir a elevação do biogás proveniente do substrato (Kress *et al.*, 2018).

Num CSTR ideal assume-se que o substrato é perfeitamente misturado. Contudo, isto não é o que se observa na prática, uma vez que a mistura dentro de um digestor leva tempo, e que pode ocorrer de forma desigual, originando zonas mortas e também um *bypass*, isto porque parte do substrato pode dar entrada no digestor e sair do mesmo, sem nem participar do processo de degradação (Davis e Davis, 2003).

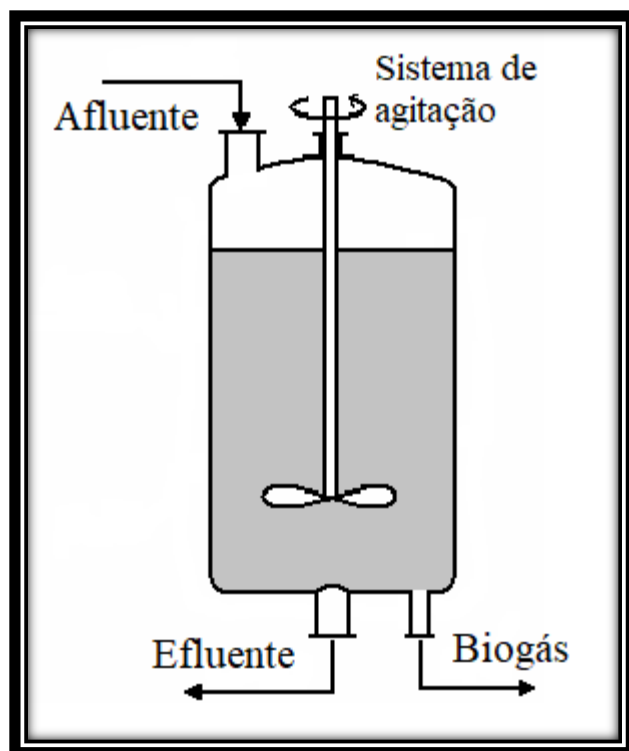


Figura 13: Exemplo de um CSTR  
(Adaptado de Davis e Davis, 2003)

## 5. Co-digestão Anaeróbia

### 5.1. Conceito

A co-digestão anaeróbia é a degradação de dois ou mais substratos realizada simultaneamente no mesmo digestor. Este processo visa o aproveitamento de substratos (ex.: lamas de ETAR, chorume, entre outros) que doutro modo seriam descartados de uma forma menos adequada e com maiores problemas ambientais, promovendo ao mesmo tempo a otimização da DA na medida em que é melhorada a razão carbono-azoto (C:N), a quantidade de CH<sub>4</sub> conseguido, entre outros aspectos (Hartman *et al.*, 2003).

A realização da co-digestão anaeróbia das lamas das ETAR e resíduos sólidos urbanos por exemplo, resulta num incremento à produção base de biogás originando valores na ordem de 0,36 m<sup>3</sup>/ kg SV. A co-digestão de resíduos provenientes de algodão e estrume proveniente de suinicultura, consegue garantir uma produção de biogás 1,8 vezes superior em relação a digestão realizada somente a resíduos do algodão (Neshat *et al.*, 2017). É de salientar que por vezes certos substratos são adicionados à mistura de modo a atenuar/melhorar situações causadas por um outro substrato (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

### 5.2. Substratos

Os substratos a serem incorporados numa DA, dependem em primeira instância da região onde se encontra o digestor anaeróbio, e da capacidade instalada do próprio digestor, podendo reduzir a quantidade admissível do substrato. A harmonia entre os diferentes substratos também se apresenta como um factor de considerável importância.

#### 5.2.1. Lamas de ETAR

As lamas provenientes do tratamento das águas residuais ocupam um lugar de importância relevante na DA, isto porque para além de constituírem a maior parte da matéria usada no processo, podem apresentar uma composição variada, relacionada com a origem das águas a tratar, que pode perigar o ambiente caso o tratamento não seja realizado da melhor forma

possível. As lamas numa ETAR são obtidas maioritariamente nos dois primeiros níveis de tratamento, originando assim as designadas lamas primárias e as lamas secundárias.

### Lamas primárias

O Decreto-Lei n. 152/97 estabelece que o tratamento primário das águas residuais é qualquer tratamento físico ou químico que envolve a decantação das partículas em suspensão ou que no final do mesmo cerca de 20 % da  $CBO_5^4$  e 50 % das partículas sólidas em suspensão tenham sido removidas.

Fazem parte do tratamento primário a sedimentação/decantação, a flotação e podendo ainda por vezes apoiar-se a da coagulação química. E um dos subprodutos obtidos no final do processo são lamas primárias. Estas lamas apresentam geralmente uma coloração cinzentas e são viscosas, detentoras de um odor pouco agradável (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

### Lamas secundárias

Segundo o Decreto-Lei 152/97 o tratamento secundário das águas residuais este relacionado com o tratamento biológico das mesmas podendo ser assistido por uma decantação secundária. Este tratamento tem por objectivo garantir um valor de  $CBO_5$  de 25 mg/L de  $O_2$  ou uma redução de 70 – 90 % do valor inicial e um valor de  $CQO^5$  de 125 mg/L de  $O_2$  ou uma redução de 75 % do valor inicial.

As lamas secundárias, obtidas no final deste processo, geralmente apresentam uma coloração castanha e na forma floculenta e odor exibido não é agressivo (Metcalf e Eddy, 2014).

Na Tabela 7 apresentam-se certas características de relevância tanto para as lamas primárias como para as lamas secundárias.

---

<sup>4</sup>  $COB_5$  – é definido como sendo a quantidade de oxigénio necessário para a oxidação bioquímica da matéria orgânica contida numa água, durante um intervalo de tempo determinado e a uma temperatura estipulada, geralmente 5 dias e 20 °C (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

<sup>5</sup>  $CQO$  – corresponde a quantidade de oxigénio necessário para a oxidação química da matéria orgânica em condições padronizadas (Marecos do Monte *et al.*, 2016).

Tabela 7: Características das lamas primárias e secundárias

(Adaptada de Metcalf e Eddy, 2014)

<i>Parâmetro</i>	<i>Lamas Primárias</i>	<i>Lamas Secundárias</i>
ST (% ST)	5- 9	0,8 – 1,2
SV (% ST)	60 - 80	59 - 88
Óleos e gorduras (% ST)	7 - 35	5 - 12
Proteínas (% ST)	20 - 30	32 - 41
Nitrogénio (N, % ST)	1,5 - 4	2,4 – 5,0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % ST)	0,8 – 2,8	2,8 - 11
pH	5,0 – 8,0	6,5 – 8,0
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	500 – 1 500	580 – 1 100
Energia (kJ /kg SV)	23 000 – 29 000	19 000 – 23 000

### Pré-tratamento das lamas

Fazem parte das operações relativas ao pré-tratamento das lamas a moagem, a remoção de grãos, a mistura das lamas primárias, secundárias e terciárias e o armazenamento.

- Na *moagem*, as partículas constituintes das lamas sofrem uma redução do seu tamanho de modo a impedir entupimentos de digestores e também a formação de invólucros ao redor de equipamentos rotativos (Demirbas *et al.*, 2017). Uma operação alternativa a esta pode ser a de tamisação das lamas, onde a mesma deve atravessar uma tela fina (geralmente 3 a 6 mm de abertura) de modo a impedir a passagem de partículas de dimensões maiores (Metcalf e Eddy, 2014).
- Uma das maneiras mais eficazes de *remoção de grãos* é através da utilização de força centrífuga de modo a possibilitar a separação das partículas (Hydro Internacional, 2018). Nesta operação a lama é aplicada tangencialmente a uma seção de um tanque, geralmente cilíndrico, usado no processo e que é posto em movimento giratório, originando força centrífugas. Assim sendo as partículas mais densas (grãos) tendem a mover-se para as

paredes do tanque onde posteriormente são retiradas e as menos densas (lama) para o interior do mesmo (Metcalf e Eddy, 2014).

- A *mistura das lamas* consiste na produção de um único substrato obtido através dos diferentes tipos de lamas conseguidas ao longo da fileira de tratamento das águas residuais (Demirbas *et al.*, 2017). Esta operação pode ser realizada num tanque desenvolvido especificamente para o efeito, o que possibilita um maior controle na uniformidade da mistura, também pode ser nas tubagens responsáveis pelo transporte das lamas aos digestores (Metcalf e Eddy, 2014).
- O *armazenamento das lamas* deve ser realizado tanto a montante como a jusante do digestor. A montante ele é realizado de modo a facilitar operações de mistura de lamas, controlo de alimentação, desidratação mecânica, entre outros, e a jusante realiza-se o armazenamento de modo a auxiliar no processo de desidratação e posterior transporte para locais de valorização ou eliminação (Davis, 2003).

### Espessamento das lamas

O espessamento é um procedimento usado para aumentar a quantidade de sólidos presentes nas lamas, a partir da remoção de uma fracção de água presente na mesma. Isto pode ser realizado através de procedimentos físicos como por exemplo, espessamento gravitacional, espessamento por flutuação, espessamento centrífugo, mesa de espessamento e espessamento por tambor rotativo (Metcalf e Eddy, 2014).

- O espessamento gravitacional é similar ao tanque de sedimentação usado na fileira de tratamento de águas residuais (Lara *et al.*, 2007). A lama é bombeada para dentro do mesmo, e por acção de forças gravitacionais a mesma vai se assentando no fundo do tanque, que geralmente tem forma cilíndrica e um fundo cónico por onde a lama espessada é posteriormente extraída. O tanque também é dotado por vezes de um sistema de agitação que facilita libertação da água presente na lama e dá lugar a desnitrificação (Metcalf e Eddy, 2014). A eficiência desta operação está vinculada ao tipo de lamas usado durante o mesmo, isto porque quanto maior for a porção de lamas activadas menor

será o teor de sólidos assentados. Assim sendo, idealmente o espessador gravítico proporciona melhores resultados com lamas puramente primárias (Davis, 2003).

- No *espessamento por flutuação* realiza-se a introdução de ar num tanque contendo as lamas a uma pressão consideravelmente elevada. Quando a mesma pressão é aliviada no sistema as bolhas de ar tendem a subir e carregam consigo as partículas das lamas, que são posteriormente removidas (Lara *et al.*, 2007). Este processo é dependente da razão ar/sólido, das características das lamas, da taxa de sólidos existentes na lama e da adição de polímeros. A razão ar/sólido apresenta-se como sendo a principal pois corresponde ao peso de ar disponível para conseguir realizar a flutuação das partículas dentro do tanque (Metcalf e Eddy, 2014).
- O princípio do *espessamento centrífugo* é similar ao verificado na remoção de grãos descrita anteriormente, ou seja, a lama é depositada de forma contínua num tanque que devido a rotação a que é submetido sofre forças centrífugas e origina a separação das partículas (Lang e Dominick, 2011). As mais densas acumulam-se nas periferias e posteriormente são recolhidas e correspondem a lama que se pretendia espessar. Por vezes, realiza-se a adição de um polímero na mistura de modo a melhorar a concentração de sólidos (Metcalf e Eddy, 2014).
- Na *mesa de espessamento*, em primeiro lugar é realizada a adição de um polímero a mistura objectivando a optimização da concentração de sólidos e facilitando o processo. A lama de seguida é introduzida num sistema onde a mesma é estendida ao longo de toda a largura de um tapete que vai rolando e fazendo a lama passar por palhetas que a vão espremendo e diminuindo o seu teor de água. Posteriormente a lama é recolhida e o tapete passa por uma limpeza para de seguida realizar novamente a operação (Davis, 2003; Lang e Dominick, 2011).
- No *espessamento por tambor rotativo* a adição de um polímero também deve ser realizada. A lama posteriormente atravessa o tambor de tela rotativa, onde a lama espessada escapa do mesmo através do fundo enquanto a água é decantada através da

tela. Este tipo de espessamento geralmente é utilizado em ETAR de dimensões médias a pequenas (Metcalf e Eddy, 2014).

### 5.2.2. Resíduos Urbanos

Segundo o Decreto-lei nº 178/2006 de 5 de Setembro, o termo resíduo é definido como sendo qualquer substância ou objecto que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer. O mesmo ainda divide os resíduos em diversas categorias, como por exemplo os resíduos urbanos (RU), que são referentes os resíduos provenientes de habitações, ou que pela natureza ou composição sejam semelhantes a estes.

A fracção orgânica dos resíduos urbanos (FORSU) tem grande aplicabilidade na DA devido as características que apresenta, porém, tais características variam consideravelmente de país para país uma vez que a produção de tais resíduos depende dos costumes das regiões e ao tipo de actividades levadas a cabo (Tabela 8). Estas características irão influenciar a quantidade de biogás possível de ser obtido por DA e o conteúdo de CH<sub>4</sub> presente no mesmo.

Tabela 8: Composição dos resíduos urbanos e quantidade de CH<sub>4</sub> possível de produzir

<i>País</i>	<i>ST (%)</i>	<i>SV (%)</i>	<i>pH</i>	<i>Humidade (%)</i>	<i>Reactor (alimentação)</i>	<i>Temperatura</i>	<i>CH<sub>4</sub> (L/g SV)</i>	<i>Referências</i>
Dinamarca	35,6	30,7	-	64,4	Descontínua	Termófila	0,4	(Hartman <i>et al.</i> , 2003)
Itália	22,3	19,7	4,3	77,7	Descontínua	Mesófila	0,3	(Pognani <i>et al.</i> , 2015)
China	18,4	11,3	5,3	81,6	Semi-contínua	Mesófila	0,3	(Dong <i>et al.</i> , 2010)
Bélgica	25,5	24,0	-	74,5	Semi-contínua	Mesófila	0,3	(De Vrieze <i>et al.</i> , 2013)

### 5.2.3. Resíduos Agrícolas

O sector agrícola é rico em matéria possível de produzir resíduos capazes de serem largamente empregues na DA, para além dos chorumes dos gados, culturas como cereais, legumes e frutos possuem uma composição dotada de compostos prováveis de serem digeridos pelas bactérias do processo.

#### Cereais

Dois dos cereais mais proveitosos de usar na digestão anaeróbia são o milho e o arroz, pelo facto do seu cultivo não necessitar de cuidados intensivos, e devido a fácil aptidão para a fermentação (GIZ *et al.*, 2010).

Destes cereais maioritariamente utiliza-se a palha como resíduo e a mesma é constituída por lignocelulose (lignina, hemicelulose, celulose). Deste 3 componentes a lignina apresenta-se como sendo prejudicial a digestão, assim sendo a sua remoção seria vantajosa antes da entrada do substrato no digestor, e isto pode ser alcançado realizando pré-tratamentos térmicos por exemplo (Lv *et al.*, 2018). Na Tabela 9 apresenta-se a composição macromolecular da palha de milho e do arroz e a quantidade de metano possível de ser produzido.

Tabela 9: Composição da palha do milho e de arroz

<i>Palha</i>	<i>ST (%)</i>	<i>SV (% ST)</i>	<i>Lignina (% ST)</i>	<i>Hemicelulose (% ST)</i>	<i>Celulose (% ST)</i>	<i>CH<sub>4</sub> obtido</i>	<i>Referências</i>
Milho	94	87,4	8,7	28,1	41,2	13,6 g/kg SV	(Zhong <i>et al.</i> , 2011)
Milho	92,6 ± 0,2	86,3 ± 0,6	4,3 ± 1,3	36,4 ± 0,4	27,8 ± 0,6	425,7 ± 14,4 (mL/g SV)	(Y. Li <i>et al.</i> , 2018)
Milho	-	-	17	25	40	-	(Saha, 2003)
Arroz	93,1 ± 0,1	76,8 ± 1,1	17,3 ± 0,3	19,5 ± 1,2	28,6 ± 0,2	-	(Mancini <i>et al.</i> , 2018)
Arroz	95,8	84,0	6,8	28,1	45,4	15,4 g/kg SV	(Zi-lin <i>et al.</i> , 2013)
Arroz			12	25	35		(Saha, 2003)

Segundo GIZ *et al.* (2010), os grãos de qualquer que seja o tipo de cereal podem também ser utilizados como um substrato na digestão, e para melhor aproveitamento dos mesmos, a redução das suas dimensões deverá ser realizada.

### Frutas e Legumes

O uso dos resíduos das frutas e legumes apresenta-se como sendo promissor na DA, uma vez que possui elevado teor de humidade e biodegradabilidade. Porém as características específicas dos mesmos resíduos podem representar um desafio à sua implementação no processo (Ji *et al.*, 2017). Tais características são descritas na Tabela 10 para alguns vegetais e frutas.

Tabela 10: Características de resíduos de frutas e vegetais

<i>Substrato</i>	<i>ST</i> (g/Kg)	<i>SV</i> (g/Kg)	<i>Lignina</i> (g/100g SV)	<i>Hemicelulose</i> (g/100g SV)	<i>Celulose</i> (g/100g SV)	<i>pH</i>	<i>CH<sub>4</sub> obtido</i> (mL/g SV)	<i>Referências</i>
Tomate	65,5	56,2	2,7	3,8	12,4	4,6	276,9 ± 37,7	(Ferrer <i>et al.</i> , 2014)
Pimenta	113,9	106,6	3,91	2,5	4,41	5,1	279,8± 42,3	(Ferrer <i>et al.</i> , 2014)
Pêssego	132,9	125,9	0,7	2,7	4,7	3,8	261,1± 30,4	(Ferrer <i>et al.</i> , 2014)
Dióspiro	204,4	198,6	0,4	2,4	3,2	5,9	241,8 ± 18,5	(Ferrer <i>et al.</i> , 2014)
Banana	181,2	176,4	-	-	-	5,0	-	(Garcia-Peña <i>et al.</i> , 2011)
Tomate	55,7	54,9	-	-	-	4,5	-	(Garcia-Peña <i>et al.</i> , 2011)
Bagaço de uva (Efluente vinícola)	434 ± 5	371 ± 5	-	-	-	3,9	-	(Achkar <i>et al.</i> , 2016)

### Chorume

A incorporação de tal produto como substrato na digestão anaeróbia, apresenta-se como sendo uma solução ambientalmente sustentável, uma vez que o estrume de qualquer gado é caracterizado por conter matéria orgânica como por exemplo polissacarídeos, proteínas, lípidos, entre outros e também pelo facto de poder resultar na diminuição da emissão de gases de efeito estufa (CH<sub>4</sub>) (Kafle e Chen, 2016).

Os gados, que fornecem maior parte do estrume para ser usado como substrato, são o bovino e o suíno. E dos mesmos consegue-se produzir uma quantidade de biogás considerável (

Tabela 12), sendo mais acentuada para o estrume de gado suíno tanto em termos de volume de biogás, como em termos de concentração de CH<sub>4</sub>. Isto é resultado da diferença de composição de cada substrato, uma vez que o chorume suíno é rico em proteínas e o esterco bovino é rico em hidratos de carbono (GIZ *et al.*, 2010).

O estrume, em geral, apresenta elevada capacidade de amortecido, uma baixa relação C/N e também podem apresentar uma concentração inibidora de amónia para um normal crescimento bacterial, sendo este ultimo mais evidente para o estrume proveniente dos aviários (Mata-Alvarez *et al.*, 2014). Na Tabela 11 apresentam-se as características relativas aos diferentes tipos de esterco.

Tabela 11: Características do chorume/estrupe de diferentes tipos de gado

<b>Chorume</b>	<b>Características</b>							<b>Referências</b>
	<b>ST - (%)</b>	<b>SV - (%ST)</b>	<b>pH</b>	<b>Proteína (%ST)</b>	<b>Gorduras (%ST)</b>	<b>Carboidratos (%ST)</b>	<b>Lenhina (%ST)</b>	
Gado bovino	16,9	60,6	8,2	8,6	2,6	46,9	9,3	(Kafle e Chen, 2016)
	19,8	85,1	8,6	-	-	-	-	(Chiumenti <i>et al.</i> , 2018)
Gado suíno	31,0	86,8	7,9	26,8	9,4	51,1	3,8	(Kafle e Chen, 2016)
	11,0	82,3	6,5	-	-	-	-	(Wang <i>et al.</i> , 2017)
Gado caprino	81,6	78,7	8,1	14,7	3,3	61,5	13,7	(Kafle e Chen, 2016)
	33,6	82,2	7,9	-	-	-	-	(Zhang <i>et al.</i> , 2013)
Gado cavalari/ equino	25,0	74,5	8,2	12,1	3,5	59,8	18,1	(Kafle e Chen, 2016)
			-					
	20,7	82,8	-	-	-	-	-	(Mönch-Tegeder <i>et al.</i> , 2013)
	-	91,3						
	27,3							
Aves de capoeira	67,8	70,0	8,0	27,0	1,0	47,2	5,1	(Kafle e Chen, 2016)
	27,9	67,8	6,9	-	-	-	-	(Ma <i>et al.</i> , 2018)

Tabela 12: Biogás produzido a partir de chorume de diferentes gados

(Adaptado de Kafle e Chen, 2016)

<i>Esterco/ Estrume</i>	<i>Biogás (mL/g SV)</i>	<i>Metano (mL/g SV)</i>
Gado bovino	295±18	204±12
Gado suíno	495±20	323±13
Gado caprino	242±13	159±9
Gado cavalari/ equino	222±5	155±2
Aves de capoeira	425±17	259±9

#### 5.2.4. Pré-tratamento dos substratos

Antes do substrato passar pela DA, por vezes certos pré-tratamentos são levados a cabo de modo a preservar os equipamentos usados e a otimizar a produção de biogás. Esses pré-tratamentos podem ser térmicos, químicos, físicos e biológicos.

##### Pré-tratamento térmico

Também designado por explosão de vapor, este tratamento consiste no aquecimento do substrato a temperaturas entre os 160 – 260 °C a partir de injeção directa de vapor de água durante um determinado intervalo de tempo (Karimi e Taherzadeh, 2008) e posterior redução drástica da pressão, que deverá ficar idealmente entre os 600 e 2500 kPa (Anjum *et al.*, 2016).

A aplicação deste tratamento trás consigo resultados benéficos para a DA, Perez-Elvira *et al.* (2010), constataram um aumento de 40% na quantidade de biogás produzido com a utilização lama que havia sofrido tal procedimento. Han *et al.* (2017), observou também um aumento significativo na eficiência da hidrólise, e ainda um aumento na quantidade de metano produzido passando de 0,155 – 0,158 m<sup>3</sup>/kg SV para 0,278 – 0,283 m<sup>3</sup>/kg SV com a utilização de lamas aquecidas a 180 °C, durante cerca de 30 minutos.

Há que salientar que acima de determinada temperatura e de certo intervalo de tempo, as vantagens apresentadas pelo tratamento deixam de ser significativas, assim sendo o ideal será a realização da explosão num máximo de 160 - 180° C e durante não mais de 60 minutos (Anjum *et al.*, 2016) e ainda é de referir que a principal desvantagem da utilização deste tratamento é o elevado custo energético associado.

### Pré-tratamento químico

Um dos métodos usados neste tratamento designa-se por hidrólise alcalina, e é idealmente empregue quando o substrato na DA encontra-se enriquecido com lípidos, compostos fenólicos ou outros compostos que originam uma redução do pH. Consiste no emprego de soluções alcalinas de modo a resolver este problema e otimizar o processo. Segundo Tanaka e Kamiyama (2002) a adição de cerca de 0,3 g de NaOH/g SV a lamas mistas a 130 °C durante cerca de 5 minutos, tratamento designado por termoquímico, resultou num aumento de 40 – 50% na solubilidade dos SV e uma produção de metano foi de cerca de 3 vezes superior a obtida sem este pré-tratamento. Num outro trabalho levado a cabo por Ghosh *et al.* (2000), observou-se um aumento em 35% na produção do biogás, com a adição de 5 g de NaOH/kg de resíduos municipais.

### Pré-tratamento mecânico

Este tratamento pode ser realizado através da moagem ou da irradiação (Karimi e Taherzadeh, 2008). A moagem consiste na redução considerável de tamanho das partículas que constituem um substrato, de modo a facilitar a digestão. Num estudo realizado por Zeng *et al.* (2007), baseado em palha de milho constatou-se que a mesma palha quando possuía dimensões entre 53 – 75 µm (micron) era cerca de 1,5 vezes mais susceptível a hidrólise comparativamente a palhas com dimensões entre 425 – 710 µm. A realização da moagem a lamas de ETAR resulta num melhoramento da quantidade de SV destruídos (16 – 110 %) (Muller *et al.*, 2007). É importante frisar que melhor proveito é tirado da combinação da moagem com um outro tipo de pré-tratamento como por exemplo aquecimento (Karimi e Taherzadeh, 2008).

Na irradiação o substrato é exposto a um espectro específico, como o ultra-som por exemplo, aplicado a efluentes de aquacultura com o intuito de desintegrar as partículas constituintes tornando a digestão mais fácil. Como resultado desta irradiação é possível observar um aumento na quantidade de biogás produzido e uma concentração de CH<sub>4</sub> superior comparativamente a obtida através do mesmo substrato porém sem o pré-tratamento (McDermott *et al.*, 2001).

#### Pré-tratamento biológico

Tratamentos vinculado ao emprego de microrganismos capazes de reduzirem significativamente a presença de certos compostos indesejados presentes no substrato, que dificultam o processo da DA (Coura, 2015).

Este pré-tratamento apresenta como principais vantagens a o baixo consumo energético, ausência de necessidade químicas e a possibilidade de ser realizado em condições ambientais (Karimi e Taherzadeh, 2008).

Na Tabela 13 é apresentado um resumo relativo a ensaios realizados à co-digestão de diversos substratos, levados a cabo por pesquisadores, sob diversas condições distintas e os resultados obtidos relativamente a produção de metano.

Tabela 13: Co-digestão de lamas de ETAR com diversos substratos em condições distintas

<i>Co substrato (CS)</i>	<i>Razão (S/CS)</i>	<i>Reactor (volume)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>SV (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>t<sub>RH</sub> (d)</i>	<i>t<sub>RS</sub> (d)</i>	<i>pH</i>	<i>Prod. Esp. (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg SV)</i>	<i>Referências</i>
Gorduras	70/30	CSTR	37	-	20		5,6 – 5,6	0,5	(Grosser <i>et al.</i> , 2017)
FORSU e AR tratada	66,7/11,1/ 22,2	CSTR (290L)	37 - 38	0,8 – 3,2	20	-	-	0,4	(Cabbai <i>et al.</i> , 2016)
Gorduras e FORSU	40/30/20	CSTR	37	-	20	-	5,4	0,5	(Grosser <i>et al.</i> , 2017)
Resíduos de alimentos	95/5	Digestor de vidro (500mL)	37	2	40 - 60		-	0,3	(Zahan <i>et al.</i> , 2016)
Chorume suíno	70/30	Digestor semi-contínuo (3L)	35	-	-	20	-	0,4	(Borowski <i>et al.</i> , 2014)
Chorume suíno e de aviários	70/20/10	Digestor semi-contínuo (3L)	35	-	-	15	-	0,3	(Borowski <i>et al.</i> , 2014)
Chorume suíno e de aviários	70/20/10	Digestor semi-contínuo (3L)	35	-	-	20	-	0,3	(Borowski <i>et al.</i> , 2014)
Chorume bovino	80/20	Digestor (2,5L)	35	-		28	6,8 – 7,6	0,3	(Jianzhe Li <i>et al.</i> , 2011)
Resíduos de batedouros	70/30	CSTR	37	-	20	-	5,7	0,3 – 0,5	(Grosser <i>et al.</i> , 2017)
Resíduos de Banana	79/21	CSTR (2,5L)	35	3	20	*	7,3	0,3	(Fonoll <i>et al.</i> , 2015)
Resíduos de Maçã	70/30	CSTR (2,5l)	35	3	20	-	7,3	0,3	(Fonoll <i>et al.</i> , 2015)
FORSU	75/25	Semi-UASB (14L)	36	3,1	17,3	-	-	0,5	(Sosnowski <i>et al.</i> , 2003)

## 6. Co-geração

### 6.1. Considerações gerais

A co-geração refere-se a produção conjunta de duas ou mais formas de energias através de uma única fonte primária. Segundo Do Monte (2010), as formas de energia que são produzidas normalmente por estes sistemas são a energia térmica e a energia mecânica, onde posteriormente a energia mecânica é convertida em outras formas de energia, como por exemplo a energia eléctrica.

A produção conjunta de energia térmica e eléctrica é designada vulgarmente por CHP (*Combined Heat and Power*) e o sistema pode ser de ciclo de topo ou de fundo (EPA, 2014). O sistema de ciclo de topo baseia-se na geração em primeira mão de energia eléctrica através da queima de um combustível num motor principal, posteriormente o calor conseguido durante o esfriamento do motor é recuperado e usado como energia térmica que por sua vez pode ser aplicado para fins como por exemplo o aquecimento de um determinado ambiente ou a realização de processos industriais, dependendo de onde e como a cogeração for realizada.

No sistema de ciclo de fundo acontece o inverso, ou seja é realizada a queima de um combustível para a produção de energia térmica, geralmente em fornos ou determinados processos industriais, e o calor que é rejeitado durante o processo é utilizado para a produção de energia eléctrica (EPA, 2014).

Habitualmente a produção de energia térmica e eléctrica é realizada de forma separada, sendo a primeira produzida em caldeiras de aquecimento e segunda em instalações centralizadas. Durante a produção de energia eléctrica em instalações onde o processo assenta-se na queima de combustível fóssil por exemplo, é possível observar uma libertação de calor (energia térmica) que poderia ser aproveitado para cobrir necessidades de aquecimento e resfriamento locais, porém muitas vezes o mesmo é simplesmente expelido fazendo com que a eficiência do sistema não seja superior a 33% (EPA, 2014).

O princípio de co-geração não é recente, ele terá tido uma das suas primeiras aplicações por volta de 1882 pela empresa Edison Illuminating Company pertencente a Thomas Edison que consegue

fornecer simultaneamente energia eléctrica para a iluminação de vias públicas e energia térmica para indústrias na cidade de Nova York, e desde então tal conceito progrediu substancialmente no que concerne as tecnologias empregues para efeito (GIZ, 2016). Um sistema de co-geração para além de garantir um grau de eficiência de aproximadamente 80%, ele origina uma redução apreciável de custos associados a compra de energia eléctrica, principalmente para industriais que tem possibilidades de desenvolver uma unidade de co-geração nas suas instalações. Além disso, a co-geração auxilia na redução da emissão de gases de efeito estufa, uma vez que os mesmos constituem a matéria-prima para a produção de energia térmica (EPA, 2014). Alexis e Liakos (2013) no estudo que realizaram para verificar a possibilidade da implementação de uma unidade de co-geração baseado num motor a gás para um hospital em Tzaneio-Piraeus na Grécia, constataram que o mesmo poderia originar uma redução de 32,4% no consumo anual de energia.

Nas estações de tratamento, sistemas de co-geração são desenvolvidos com o intuito de utilizar o biogás produzido na DA, como matéria-prima para a produção de energia. A ETAR de Sheboygan-Wisconsin nos E.U.A é considerada líder em eficiência energética no sector de tratamento de águas, uma vez que consegue gerar entre 70 a 90% das suas necessidades energéticas através da co-geração usando o biogás (EPA, 2014). A ETAR de Back River em Baltimore-Maryland nos E.U.A, implementou em 2008 um sistema de co-geração com base no biogás, que resultou na redução de 19,4 milhões de kWh no consumo anual de energia eléctrica. Por consequência a cidade de Baltimore conseguiu poupar até 1,4 milhões de dólares na compra anual da mesma forma de energia (EPA, 2014). As unidades comumente usadas na co-geração com base no biogás são o grupo motor gerador, a caldeira com turbina a vapor, a turbina a gás e as células de combustível.

---

## **6.2. Grupo motor-gerador**

O grupo motor-gerador é o mais comumente empregue para a realização da co-geração, como o nome já pressupõe, a unidade é constituída por um motor que se encontra a uma rotação constante, e por um gerador compatível para a produção de energia eléctrica (Figura 14). O sistema caracteriza-se como sendo de ciclo de topo, ou seja a energia térmica surge como consequência do aproveitamento do calor expelido durante a exaustão e o esfriamento do motor usado para a produção de energia eléctrica. Assim sendo, devem também fazer parte do módulo

de co-geração os sistemas de arrefecimento, os recuperadores de calor, dispositivos hidráulicos de distribuição de calor e dispositivos eléctricos de distribuição de energia (GIZ *et al.*, 2010). Os motores usados na cogeração podem ser de dois tipos nomeadamente, os motores a gás de ciclo de Otto e os motores de ignição a compressão.

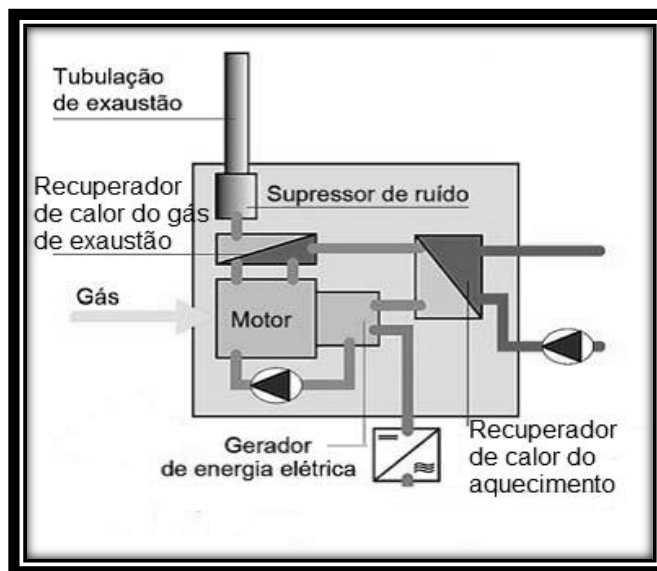


Figura 14: Grupo motor-gerador para cogeração de energia eléctrica e térmica

(Adaptado de GIZ *et al.*, 2010)

O motor a gás de ciclo de Otto funciona na base do ciclo comumente verificado em motores à gasolina (Assanis *et al.*, 1996). O combustível é admitido na câmara de combustão juntamente com ar puro, o que por sua vez provoca a descida do pistão existente na câmara sendo posteriormente comprimido a uma razão de 8 a 12:1. O pistão ao atingir o ponto morto superior (PMS), devido a existência de velas na mesma região, origina uma explosão que o faz novamente descer, porém desta vez, quando o mesmo retorna a parte superior, os gases formados durante o processo são expelidos através da válvula de escape (GIZ *et al.*, 2010). Este tipo de motor geralmente é caracterizado por ter uma vida útil considerável, uma eficiência significativa e não necessitar de manutenção constante, porém o custo de investimento pode apresentar-se como sendo elevado (Darrow *et al.*, 2017). Quando o biogás é usado como combustível, deve-se obrigatoriamente regular o carburador de modo a conseguir uma mistura ar/biogás dotada de características mais pobres (45% de metano na sua composição). Na ausência de biogás, o gás natural apresentam-se como um substituto considerável (GIZ *et al.*, 2010).

O Motor de ignição a compressão tem seu funcionamento baseado no princípio dos motores a diesel. Assim sendo, o biogás é injectado na camara de combustão juntamente com o ar, proporcionando assim a descida do pistão que posteriormente é comprimido a uma razão de 12 a 17:1 o que por sua vez origina um aquecimento do meio. A explosão é proporcionada pela injeção de um combustível a uma determinada velocidade, e a semelhança do motor de ciclo de Otto o regresso do pistão a parte superior origina a saída dos gases formados durante processo. Este motor geralmente é de baixo custo e possui uma eficiência eléctrica superior a apresentada pelo motor de ciclo de Otto, contudo a sua vida útil é reduzida, necessita de manutenção mais frequente e a emissão de gases poluentes pode ultrapassar a média estabelecida O combustível geralmente usado é um óleo de injeção, porém na falta de biogás o processo pode ser realizado com diesel (Darrow *et al.*, 2017).

Os geradores também podem ser de dois tipos nomeadamente os geradores síncronos e os assíncronos. Devido ao elevado consumo de corrente reactiva, são mais usados os síncronos (GIZ *et al.*, 2010).

Na Tabela 14 são apresentadas as vantagens e desvantagens do grupo moto-gerador

Tabela 14: Vantagens e desvantagens do grupo motor-gerador

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

<i><b>Vantagens</b></i>	<i><b>Desvantagens</b></i>
Elevada eficiência energética	Custo de manutenção relativamente elevado
Inicialização rápida	Deve ser arrefecido mesmo se o calor não for usado com energia térmica
Custo de investimento relativamente baixo	Libertação de gases poluentes considerável
Consegue operar com gases a baixa pressão	Geração de ruído de baixa frequência

### **6.3. Caldeira com turbina a vapor**

Este sistema funciona na base do ciclo termodinâmico de Rankine, ou seja a produção de energia eléctrica resulta da contínua vaporização e condensação de um fluido, geralmente água. O sistema é composto por uma caldeira alimentada por um combustível que é responsável pelo

aquecimento do fluido e conseqüente produção de vapor a elevada pressão, tal combustível pode ser o gás natural, gás propano, biogás, madeira, carvão, entre outros. De seguida, o vapor conseguido é encaminhado a uma turbina de modo a promover movimento, produzindo assim energia mecânica que posteriormente é transformada em eléctrica. Parte do vapor que entra na turbina é posteriormente conduzido a um condensador de modo a poder ser realizada a recirculação da água obtida com o processo com o auxílio de uma bomba, e outra parte é usada na produção de energia térmica (Figura 15) (GIZ, 2016).

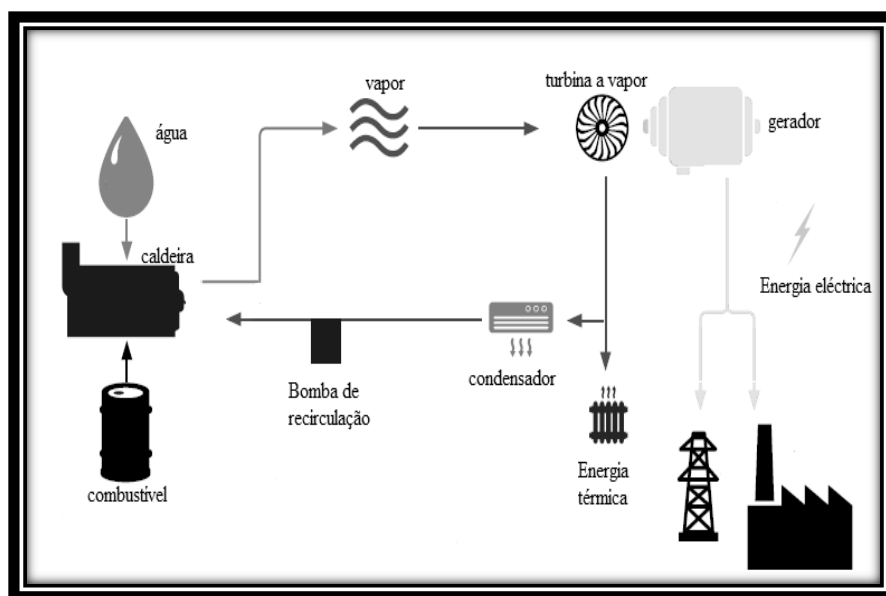


Figura 15: Funcionamento de uma turbina a vapor

(Adaptado de GIZ, 2016)

Existem dois tipos de turbinas nomeadamente a turbina por impulso e a turbina por reacção (Figura 16). Na turbina por impulso o vapor é direccionado contra as hélices em forma de concha existentes dentro da mesma, o que provoca a sua rotação gerando assim energia mecânica, porém durante tal processo o vapor perde velocidade a medida que vai transferindo a sua energia cinética, o que implicaria uma menor energia mecânica caso uma segunda secção transversal de hélices existisse, como solução geralmente desenvolve-se uma secção intermediária com hélices no sentido contrário de modo a recuperar a velocidade perdida (Baily, 1996). Nas turbinas por reacção as hélices são concebidas num formato semelhante as pás aerodinâmica, ou seja elas tem um formato cónico que decresce a partir da secção de entrada do vapor até a secção de saída. Este design permite com que a velocidade do vapor aumente a medida que pressão exercida pelo

mesmo diminui, uma vez que a entrada do ar na turbina é realizada na parte central, percorrendo toda a extensão das hélices a medida que vai causando o movimento das mesmas (energia mecânica) (Darrow *et al.*, 2017).

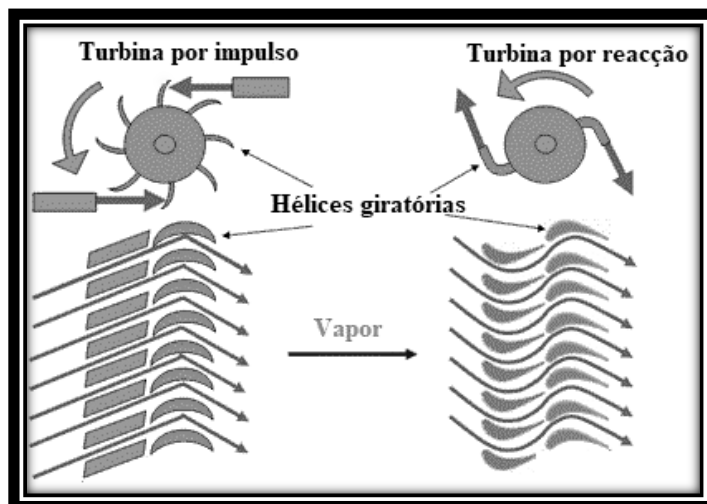


Figura 16: Exemplos de turbinas por impulso e por reacção

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

Na Tabela 15 são apresentadas as vantagens e desvantagens da caldeira com turbina a vapor

Tabela 15: Vantagens desvantagens das caldeiras com turbina a vapor

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

<b><i>Vantagens</i></b>	<b><i>Desvantagens</i></b>
Opera num vasto intervalo de pressões provocadas pelo vapor	Baixa razão energia/calor, (0,05 - 0,2)
Flexibilidade no tipo de combustível a ser usado na caldeira	Fuga de vapor entre as hélices, nos selos terminais, e para dentro do sistema
Vida útil considerável, até aos 50 anos	Turbinas de maiores dimensões tem um tempo de arranque consideravelmente elevado
Comparando com motores a vapor, as turbinas a vapor originam velocidades rotacionais mais altas, o que contribui para o menor custo por unidade de potência desenvolvido.	

## 6.4. Turbina a gás

As turbinas de gás funcionam na base do ciclo termodinâmico de Brayton, dispondo de um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina (Roco *et al.*, 1997). O ciclo inicia-se no compressor onde é admitido ar atmosférico a uma determinada pressão que irá ser aumentada a medida que o ar for comprimido, o que resultará no aumento da sua temperatura. De seguida, o mesmo ar é conduzido até a câmara de combustão onde é introduzido o combustível (biogás por exemplo) originando assim a queima do mesmo, que por sua vez resulta na produção de gases expandidos com pressão e temperatura ainda mais elevadas. Tal produto é posteriormente encaminhado a turbina produzindo trabalho mecânico que é posteriormente transformado em energia eléctrica (Viteri e Anderson, 2003).

O gás remanescente é expelido e pode ser aproveitado como energia térmica. Vale salientar que o compressor e a turbina, habitualmente, estão ligados por um veio comum o que significa que o funcionamento do compressor é condicionado pelo trabalho realizado pela turbina. As turbinas a gás podem ser de dois tipos nomeadamente as turbinas a gás aeroderivadas e as turbinas a gás industriais (Darrow *et al.*, 2017).

As turbinas a gás aeroderivadas, como o nome já sugere são turbinas que primordialmente foram concebidas para o uso em aeronaves e que posteriormente, como forma de reciclagem, foram reaproveitadas para outros fins como por exemplo a produção de energia em modo estacionário. Embora tais turbinas sejam mais leves, termicamente mais eficientes e com razões de compressão apreciáveis (cerca de 30:1), o seu custo revela-se elevado comparativamente a modelos concebidos especificamente para o mesmo propósito e frequentemente necessitam de um compressor de ar externo. As turbinas a gás industriais são desenvolvidas exclusivamente para a produção de energia, assim sendo são mais baratas, porém mais pesadas e menos eficientes. Elas possuem uma razão de compressão mais baixa comparativamente as turbinas aeroderivadas, cerca de 16:1 porém não requer um compressor de gás externo (Darrow *et al.*, 2017). Na Tabela 16 são apresentadas as vantagens e desvantagens das turbinas a gás.

Tabela 16: Vantagens e desvantagens de turbinas a gás

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Flexibilidade no tipo de combustível a ser usado. Podendo ser o gás natural, o biogás, petróleo, entre outros	Exigência de um compressor
Vida útil considerável	Susceptível a variações do desempenho face a mudanças de temperatura ambiente
Emissão reduzida de gases de efeito estufa	Susceptível a variações do desempenho face a altitude da instalação
Elevada fiabilidade	

## 6.5. Pilhas de combustível

As pilhas de combustível têm um princípio de funcionamento similar ao observado nas baterias uma vez que baseiam-se em processos electroquímicos para a produção de energia sem a necessidade da ocorrência de qualquer tipo de combustão, porém diferentemente das baterias, as pilhas de combustível não armazenam energia, somente a produzem (Figura 17) (Carrette *et al.*, 2001).

Uma pilha de combustível é um sistema formado por um grupo de células de combustível, dispostas em serie. Cada célula é formada por duas placas denominadas de ânodo e cátodo, onde cada uma delas é revestida num dos seus lados por um catalisador, geralmente e platina, e são separadas por uma membrana electrolítica (PEM). No ânodo flui o hidrogénio, extraído de um combustível como o biogás que, devido a acção do catalisador, tem seus átomos separados em electrões e protões. Os electrões fluem, através de um circuito externo, até ao cátodo atravessando um consumidor e gerando assim energia eléctrica, e os protões atravessam a membrana electrolítica para juntarem-se novamente os electrões e aos átomos de oxigénio introduzidos no cátodo, gerando assim vapor de água (Darrow *et al.*, 2017).

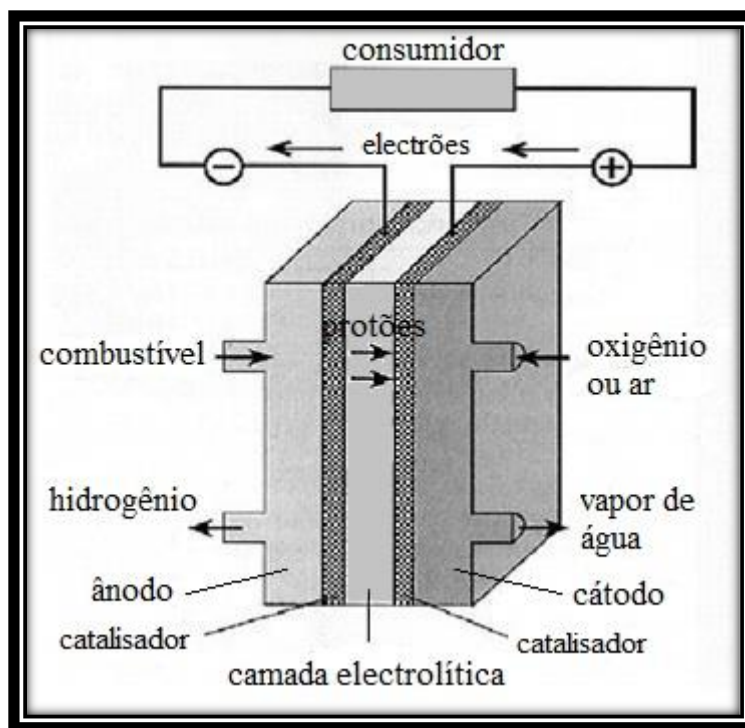


Figura 17: Funcionamento de uma célula de combustível

(Adaptado de GIZ *et al.*, 2010)

Os tipos de pilhas de combustível variam com base no material de que é feita a membrana electrolítica, na Tabela 17 são apresentados os 4 tipos mais comumente utilizados e suas respectivas características:

Tabela 17: Tipos de pilhas de combustível

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017; GIZ *et al.*, 2010)

	<b>Membrana de electrolito de polímero (PEMFC)</b>	<b>Célula de combustível de ácido fosfórico (PAFC)</b>	<b>Célula de combustível de carbonato (MCFC)</b>	<b>Célula de combustível de óxido sólido (SOFC)</b>
Electrolito usado	Membrana de polímero	Ácido fosfórico líquido em uma matriz de óxido de alumínio e lítio	Solução de carbonato de lítio, sódio e / ou potássio embebidos em uma matriz de cerâmica	Cerâmica sólida, zircónica estabilizada com ítria (YSZ)
Material usado na construção	Plástico, metal ou fibra de carbono	Fibra de carbono ou material cerâmico poroso	Metal de alta temperatura ou material cerâmico poroso	Material cerâmico ou metal de alta temperatura
Temperatura de operação	65 – 85° C	150 – 200° C	600 – 700° C	700 – 1 000° C
Eficiência eléctrica	25 – 35%	35 – 45%	40 – 50%	45 – 55%

Vale salientar que globalmente as pilhas PEMFC e as MCFC são as mais comercializadas por apresentarem um custo relativamente baixo quando comparadas as outras e por terem um grau de eficiência apreciável. As pilhas SOFC até ao ano de 2007 ainda não eram comercializadas porém actualmente o mesmo acontece também em quantidades consideráveis (Darrow *et al.*, 2017).

Na Tabela 18 são apresentadas as vantagens e desvantagens das pilhas de combustível

Tabela 18: Vantagens e desvantagens das pilhas de combustível

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Muito baixa emissão de gases de efeito estufa	Custo de investimento inicial elevado
Eficiência eléctrica considerável (30 a 55%)	Sensibilidade a uma gama de compostos e substâncias como
Operação muito pouco ruidosa	Vida útil relativamente baixa (5 a 10 anos) por serem sistemas consideravelmente complexos
Flexibilidade nos tipos de combustíveis usados (gás natural, petróleo, biogás, gases industriais)	

## 6.6. Selecção do tipo de sistema de cogeração

A utilização de um sistema de cogeração numa ETAR é dependente da quantidade de água residual possível de ser tratada diariamente, de modo a poder garantir a viabilidade tanto técnica como económica do sistema. Segundo a USEPA (2011) o caudal mínimo recomendável é de 5MGD, o que equivale a aproximadamente 18927 m<sup>3</sup>/dia, contudo numa actualização do mesmo documento realizada no ano de 2011 estabeleceu-se um novo valor mínimo de 1MGD, equivalente a 3785 m<sup>3</sup>/d. As ETAR que apresentarem um caudal de biogás compreendido entre os dois valores acima referenciados e pretenderem realizar cogeração deveram garantir meios que optimizem a DA, como por exemplo a incorporação de outros substratos.

A escolha de um determinado tipo de sistema está vinculada a diversos factores, uma vez que cada sistema apresenta particularidades que condicionam a sua aplicação. Os tipos de sistemas de cogeração mais comumente empregues são o sistema baseado no grupo motor-gerador e o sistema das caldeiras com turbina a vapor por serem sistemas viáveis e de custos reduzidos (Darrow *et al.*, 2017).

Na Tabela 19 apresenta-se um resumo das principais características de cada tipo de unidade de cogeração que podem utilizar o biogás na realização das suas actividades.

Tabela 19: Principais características das unidades de cogeração

(Adaptado de Darrow *et al.*, 2017)

<i>Características</i>	<i>Grupo motor-gerador</i>	<i>Caldeira com turbina a vapor</i>	<i>Turbina a gás</i>	<i>Pilhas de combustível</i>
Eficiência Total	77 – 80%	aprox. 80%	66 – 71 %	55 – 80%
Eficiência eléctrica	27 – 41 %	5 – 40 %	24 – 36 %	30 – 63 %
Razão energia/calor	0,5 – 1,2	0,07 – 0,1	0,6 – 1,1	1 - 2
Tamanhos disponíveis	(Para motores com 1 200 RPM) ≤ 4MW (Para motores com 60 – 275 RPM) <80MW	50 kW – centenas de MW	500 kW – 300 MW	5kW – 2 MW
Custo de instalação (€/KW <sub>e</sub> )	1 280 - 2480	570 - 940	1 020 – 2 820	4 270 – 5 550
Custo de operação e manutenção (€/KW <sub>h</sub> <sub>e</sub> )	0,008 – 0.021	0,051 – 0,009	0,008 – 0,011	0,003 – 0,032
Tempo para inicialização	10 segundos	1 hora – 1 dia	10 min – 1 hora	3 horas – 2 dias
Tempo necessário para manutenção (horas)	30 000 – 60 000	>50 000	25 000 – 50 000	32 000 – 64 000
Combustíveis	Gás natural, biogás, gás manufacturado, gás de resíduos industriais, etc	Todo tipo	Gás natural, biogás, gás sintético, etc	Hidrogénio, gás natural, biogás, propano, etc

## **7. Enquadramento Legal**

### **7.1. Energia Renovável - Biogás**

A Directiva 2009/28/CE de 23 de Abril – Biomassa, biogás e biocombustíveis - define a energia renovável como sendo a energia proveniente de fontes que não sejam fósseis. Fazem parte desse universo as energias produzidas por hidroeléctricas, por centrais eólicas, fotovoltaicas, geotérmicas, por ETAR através da cogeração do biogás, entre outras.

É estabelecida na Directiva uma meta comum para a promoção de produção de energia renovável para todos os Estados-Membros. São também afixados objectivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes. Estabelece também critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e bio líquidos.

A integração de tal política nas ETAR de Portugal é realizada através da transposição de certos documentos legais comunitários e nacionais relativos ao tratamento a ser realizado as águas residuais e as lamas obtidas. A legislação nacional que transpõe parcialmente tal Directiva para o período 2013-2020, é o Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER 2020), que estabelece a meta 31 % de energia proveniente de fontes renováveis para o consumo final bruto de energia e a meta de 10 % para o sector de transportes. O PNAER ainda estabelece um conjunto de metas intercalares para a utilização de energia renovável no consumo final bruto de energia, sendo as mesmas 23,7 % para 2013 e 2014, 25,2 % em 2015 e 2016, 27,3 % para 2017 e 2018. Em Portugal, a energia produzida por cada fonte de energia renovável (FER), hídrica, biomassa, resíduos e biogás, eólica, geotérmica e fotovoltaica, é apresentada Figura 18, sendo ainda indicadas as respectivas metas.

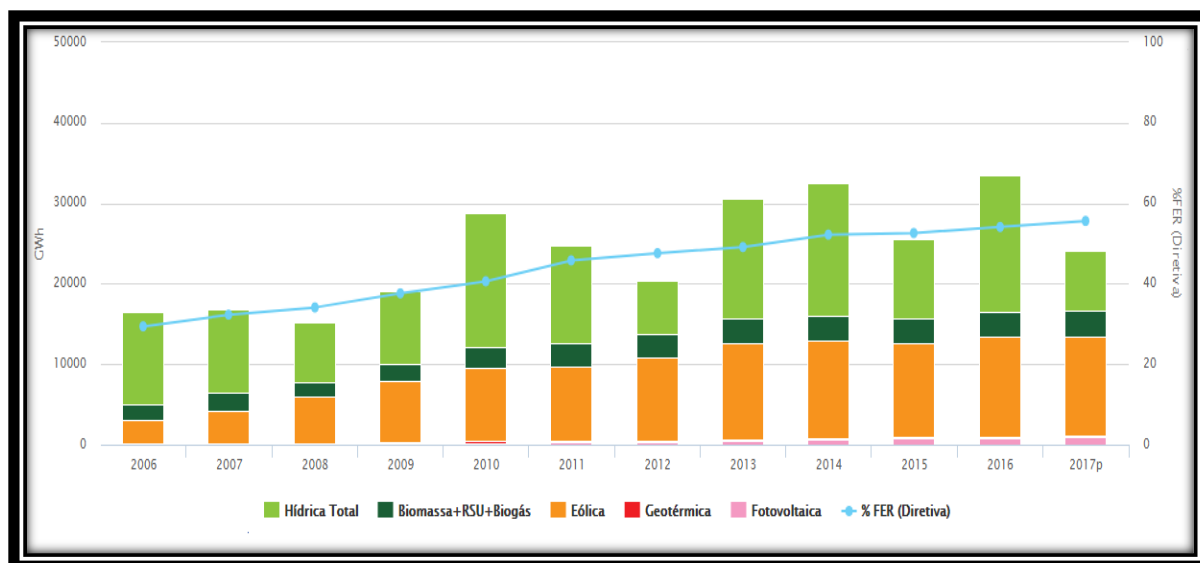


Figura 18 :Energia produzida por FER em Portugal  
(Adaptado de DGEG, 2017)

Como se pode observar na Figura 18, a energia produzida pela biomassa, RU e biogás aumentou ligeiramente de 2006 a 2017. No entanto, a fracção de energia renovável produzida, em 2017, com base na biomassa, nos RU e no biogás é pouco significativa quando comparada com as outras FER (Figura 19).

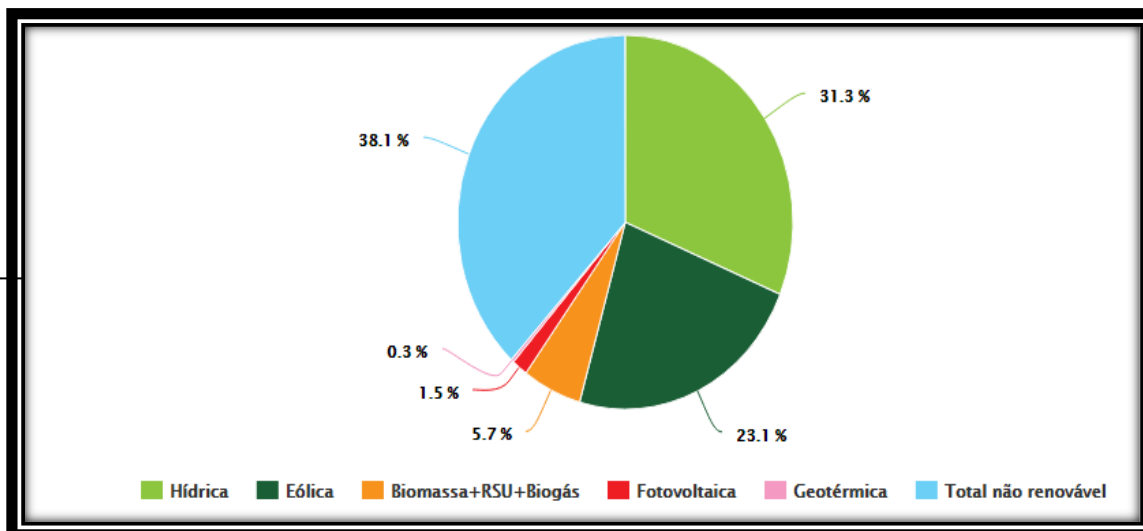


Figura 19: Percentagem dos FER usados na produção de energia  
(Adaptado de DGEG, 2017)

## 7.2. Lamas de tratamento de ARU e outros substratos

A nível nacional, o Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de Outubro, é o que estipula o tipo de lamas a ser empregue em solos agrícolas. O mesmo Decreto-Lei provém da transposição da ordem jurídica interna a Directiva n.º 86/278/CEE, de 12 de Junho, onde o tipo de lama é seleccionado de modo a evitar que a saúde pública seja afectada assim com também evitar que, a contaminação das águas, dos solos, da vegetação e dos animais seja assistida. Os tipos de lamas a serem empregues com base na Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada na Portaria 209/2004, de 3 de Março são:

- Lamas provenientes de ETAR domésticas, urbanas e outras de composição semelhante, com código LER 190805;
- Lamas de fossas sépticas e de outras instalações similares para o tratamento de águas residuais, com o código LER 200304;
- Lamas provenientes de ETAR de actividades agro-pecuárias, com o código LER 020199.

Geralmente as lamas de ETAR podem ter os seguintes tratamento de acordo com o regime geral de gestão de resíduos, aprovado pelo Decreto-lei n. 178/2006 de 5 de Setembro na redacção do Decreto-Lei n.73/2011, de 17 de Junho (APA, 2013):

- a) Tratamento biológico por compostagem ou digestão anaeróbia (R3);
- b) Tratamento no solo para benefício da agricultura (valorização agrícola) (R10);
- c) Deposição em aterro (D1);
- d) Tratamento no solo, com vista à sua eliminação (D2);
- e) Tratamento biológico que produz compostos ou misturas finais para eliminação (D8);
- f) Tratamento físico-químico que produz compostos ou misturas finais para eliminação (D9);
- g) Armazenagem para eliminação (D15) ou para valorização (R13);
- h) Troca de resíduos para valorização (R12).

Na aplicação de lamas de ETAR em solos agrícolas (R10) aplica-se o Decreto-Lei n. 276/2009, de 2 de Outubro (transposição da Directiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho), o qual promove a correcta utilização das lamas por forma a proteger a saúde pública e o ambiente. O Decreto-Lei n.º 103/2015 estabelece os critérios de qualidade para estas matérias produzidas a partir de resíduos e matérias orgânicas biodegradáveis. Indica ainda o fim de estatuto de resíduo à produção de composto constituindo-se como um produto.

Actualmente a utilização de lamas em solos agrícolas, em determinada área está sujeita a um Plano de Gestão de Lamas (PGL), o qual tem uma validade de 5 anos.

## 8. Lamas de ETAR em Portugal

Nos últimos 10 anos, o país tem registado uma flutuação significativa no número de habitantes e da sua distribuição ao longo de todo território nacional, uma vez que até 2018 estima-se uma população aproximadamente de 10 229 431 habitantes, cerca de 35 000 habitantes menos em relação ao ano passado (Tabela 20) (INE e PORTADA, 2018). Verifica-se que a maior parte da população reside e desenvolve suas actividades nas regiões norte, centro e área metropolitana de Lisboa, isto deve-se a factores tanto de ordem socioeconómica como política (INE, 2017a). Mesmo com este decréscimo, o volume de águas residuais produzido ainda é relevante. Aproximadamente 80 % da população no período apresentado é servida de drenagem das suas águas residuais e, deste total, cerca de 95 % tem tratamento adequado, ou seja, as águas residuais por si produzidas são encaminhadas para estações de tratamento.

Tabela 20: Quantidade de águas residuais urbanas e lamas produzidas entre 2011 e 2018

<i>Ano</i>	<i>População (hab)</i>	<i>População servida por drenagem (hab)</i>	<i>Capitação AR (l/(hab.d))</i>	<i>Caudal anual (m<sup>3</sup>/ano)</i>	<i>Lamas produzidas (t/ano)</i>
2011	10 558 909	8 552 716	155	483 869 924	97 170
2012	10 515 016	8 517 163	235	730 559 653	102 892
2013	10 459 715	8 472 369	252	779 288 514	105 639
2014	10 402 343	8 477 910	166	513 676 539	101 110
2015	10 341 330	8 428 184	168	516 816 240	114 161
2016	10 304 434	8 398 114	177	542 560 136	115 274
2017*	10 291 027	8 387 187	187	571 837 189	116 581
2018*	10 229 431	8 336 986	184	559 005 049	122 648

\*Valores obtidos com auxílio da ferramenta PREVISAO do Microsoft Excel.

É possível observar que no presente ano 2018, apesar da produção de águas residuais ter sido reduzida comparativamente ao ano passado, a quantidade ainda é substancial. E a porção de lamas obtidas através das mesmas águas também é considerável e por si só constitui um forte motivo para a realização da DA. A composição de tais lamas não será a mesma para todas as ETAR, contudo uma média da mesma é a apresentada na Tabela 21.

Tabela 21: Composição média das lamas de ETAR de Portugal

(Adaptado de Berco, 2013; Mendes, 2014)

<i>Parâmetro</i>	<i>Valores</i>
Matéria seca (ST) (%)	1,5 – 6,3%
Matéria orgânica (SV) (% ST)	38,2 – 84,5%
pH	5,7 – 7,4

É importante frisar que o turismo cumpre, um papel muito importante no que concerne a quantidade de água residual produzida pela população flutuante, uma vez que Portugal revelou-se como sendo um dos destinos mais procurados nos últimos anos sobretudo no verão e principalmente nas regiões do Algarve e na Área Metropolitana de Lisboa (INE, 2017a).

## 9. Resíduos de Portugal

### 9.1. Resíduos urbanos

Os RU ocupam um lugar de importância relevante no país, uma vez que nos últimos anos tem-se registado, paralelamente a sua crescente produção, uma valorização energética apreciável. A quantidade de RU recolhidos, indubitavelmente, está vinculada à quantidade de habitantes. E como já mencionado no capítulo 8, a distribuição da mesma não é igual ao longo de todo território. O número de habitantes e a quantidade de RU produzidos nos últimos sete anos são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: População e quantidade de RU produzido em Portugal entre 2011 e 2017

<i>Ano</i>	<i>População (hab)</i>	<i>Capitação RU (kg/(hab.d))</i>	<i>RU anual (t/ano)</i>
2011	10 558 909	1,3	5 202 902
2012	10 515 016	1,2	4 759 096
2013	10 459 715	1,2	4 581 355
2014	10 402 343	1,2	4 708 100
2015	10 341 330	1,2	4 680 485
2016	10 304 434	1,3	4 851 843
2017	10 264 797	1,2	5 007 000

Como é possível observar, a quantidade dos RU aumentou em 2016, sendo o maior valor dos últimos sete anos. A composição dos RU em 2016 é apresentada na Figura 20, sendo de destacar que a FORSU que representa cerca de 60% dos RU (APA, 2018).

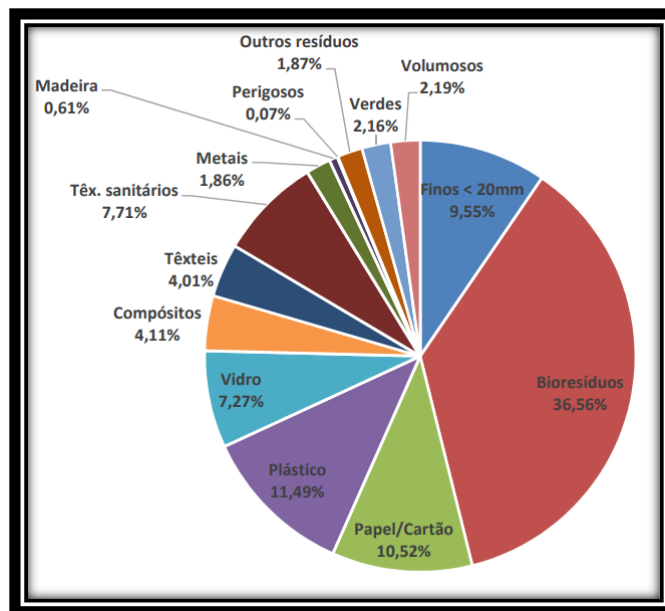


Figura 20 : Caracterização física dos RU em 2017

(Adaptado de APA, 2018)

Em termos de teores de ST e SV a FORSU apresenta cerca de 34 % de ST e 28% de SV (Campuzano e González-Martínez, 2016). A produção de RU, os bio resíduos e a quantidade enviada para valorização energética por DA é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23: Resíduos urbanos, bio resíduos e a quantidade enviada para valorização energética por DA em Portugal de 2011 a 2017

<i>Ano</i>	<i>RU anual (t/ano)</i>	<i>FORSU (t/ano)</i>	<i>Enviado para valorização energética (DA) (t/ano)</i>
2011	5 202 902	2 107 175	509 884
2012	4 759 096	1 837 011	466 391
2013	4 581 355	1 695 101	448 973
2014	4 708 100	1 712 749	461 394
2015	4 680 485	1 707 909	458 688
2016	4 851 843	1 804 886	475 481
2017	5 007 000	1 940 713	490 686

## 9.2. Resíduos agrícolas

Segundo o Decreto-lei nº 178/2006 os resíduos agrícolas são todos os resíduos originários da actividade agrícola e pecuária, ou semelhante.

Segundo o INE (2018) existiam até ao ano de 2016, cerca de 259 000 explorações agrícolas no país ocupando aproximadamente 3,6 milhões de hectares de todo território nacional ou seja 39,5 %, e comparativamente aos anos de 2009 e 2013 este número de explorações terá reduzido consideravelmente (menos 46,3 mil e 5,4 mil respectivamente) porém a Superfície Agrícola Utilizada (SAU<sup>6</sup>) não registou uma baixa significativa. Contrariamente a distribuição da população urbana, as explorações encontram-se maioritariamente nas regiões Norte e Centro e no Alentejo e menos em zonas como a AM de Lisboa e no Algarve.

A distribuição da produção de bens consumíveis ao longo do território nacional varia consoante o relevo, a composição de solo, a disponibilidade de sistemas de regadio e as condições climáticas apresentadas por cada região. A variação da produção de cereais, grão e frutos em 2017 para Portugal Continental é apresentada na Figura 211 (INE, 2018).

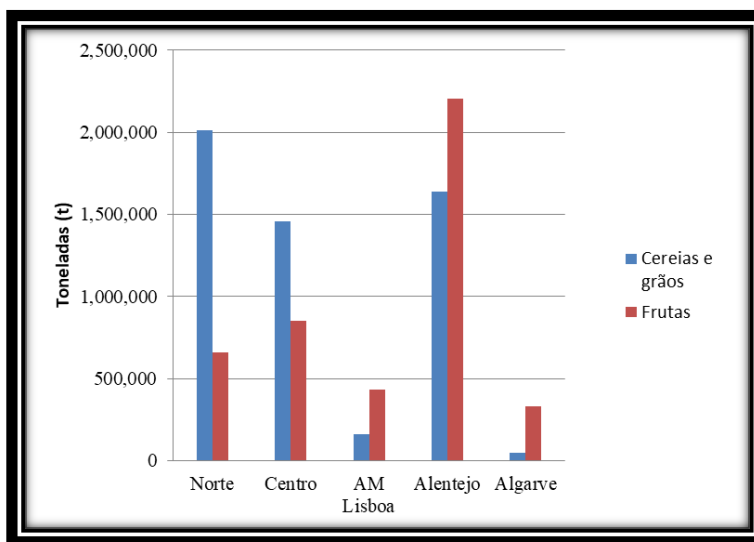


Figura 21: Produção de cereais, grão e frutos em Portugal Continental em 2017

(Adaptado de INE, 2018b)

<sup>6</sup> SAU – Superfície constituída pelas terras aráveis (limpas e sob coberto de mata e florestas), culturas permanentes, pastagens permanentes e hortas familiares (INE, 2017b)

A razão resíduo/grão praticamente é de 1 para a maior parte dos casos, o que significa que quantidade de resíduos será similar a quantidade do produto obtido. Exceptuando culturas como o milho, onde a razão é de 1,2 (Ibero Massa Florestal, 2014)

O tipo de gado criado varia ao longo do território nacional, pelos mesmos motivos que fazem com o que o tipo de produção agrícola varie. Na Tabela 24 é determinada a quantidade de chorume possível de ser produzido ao longo do território nacional.

Tabela 24: Estrume produzido no ano de 2016 em Portugal Continental

(Adaptado de INE, 2018a;)

<i>Localização</i>	<i>Bovinos</i>		<i>Suínos</i>		<i>Ovinos</i>		<i>Caprinos</i>	
	Cabeças	Estrume	Cabeças	Estrume	Cabeças	Estrume	Cabeças	Estrume
	(10 <sup>3</sup> n.º)	(10 <sup>3</sup> t/ano)	(10 <sup>3</sup> n.º)	(10 <sup>3</sup> t/ano)	(10 <sup>3</sup> n.º)	(10 <sup>3</sup> t/ano)	(10 <sup>3</sup> n.º)	(10 <sup>3</sup> t/ano)
Portugal	1 567	13 680	1 875	8 662	2 200	4 400	390	780
Continente	1 301	11 358	1 841	8 505	2 190	4 380	378	756
Norte	365	3 186	65	300	434	868	116	232
Centro	181	1 580	697	3 220	510	1 020	145	290
AM Lisboa	57	498	131	605	38	76	5	10
Alentejo	690	6024	933	4 310	1 162	2 324	97	194
Algarve	8	70	15	69	46	92	15	30

A quantidade de estrume produzido por cada tipo de gado foi obtida com base no quadro apresentado no ANEXO II

A distribuição desigual na produção, por si só irá condicionar as características dos resíduos obtidos e conseqüentemente a qualidade e quantidade de biogás possível de ser conseguido, uma vez que os resíduos gerados por cada tipo de alimento (Tabela 10) e de gado (Tabela 11) possuem características peculiares, principalmente no que tangue os ST e conseqüentes SV.

## 10. Casos de estudos - ETAR de Portugal

### 10.1. Metodologia

Para persecução dos objectivos propostos no presente trabalho foi realizada uma pesquisa exaustiva em sites nacionais e europeus, artigos, teses e relatórios das entidades gestoras de águas residuais existentes em Portugal, por forma a recolher informação relativa as quantidades de lamas produzidas, biogás produzido e a sua composição, tipo de reactores de DA e a produção de energia. Face à escassez de dados foi necessário realizar inquéritos às entidades gestoras, cujo formulário é apresentado no Anexo III e os resultados obtidos são apresentados no Anexo IV.

O inquérito foi enviado a um total de 3 entidades gestoras e a participação das mesmas foi significativamente positiva. Todas responderam aos inquéritos, todavia existiram aspectos inqueridos que não ficaram bem esclarecidos, com destaque para o pré-tratamento das lamas e para o caudal de recirculação das lamas digeridas, uma vez que tais aspectos não são monitorizados pela maior parte das entidades. Porém, para o pré-tratamento das lamas, foi possível perceber que no mínimo é realizado o espessamento.

O destino final das lamas indicado por todas as entidades é a valorização agrícola. Os dados disponibilizados possibilitaram a determinação de certos parâmetros de desempenho no processo de DA das diversas ETAR, nomeadamente:

- Grau de eficiência de remoção de SV;
- Produção de biogás expressa em:
  - m<sup>3</sup> de biogás possível de ser produzido por m<sup>3</sup> de lamas afluente;
  - m<sup>3</sup> de biogás possível de ser produzido por kg de lamas afluente
  - m<sup>3</sup> de biogás possível de ser produzido por m<sup>3</sup> de dois ou mais substratos em co-digestão;
- Produção de energia
  - kWh de energia possível de ser produzida por m<sup>3</sup> de biogás;

- kWh de energia possível de ser produzida por m<sup>3</sup> de lamas afluente;
- kWh de energia possível de ser produzida por m<sup>3</sup> de dois ou mais substratos em co-digestão;
- Redução dos custos associados ao consumo de energia eléctrica.

## 10.2. Descrição do processo da DA das ETAR seleccionadas

Em 2017, Portugal tinha cerca de 4349 de instalações destinadas ao tratamento das AR, deste total cerca de 2743 são ETAR (63 %) e o restante são fossas sépticas. Relativamente ao tratamento de lamas por DA é utilizado maioritariamente nas ETAR localizadas em algumas regiões do Algarve, na área metropolitana de Lisboa e no Porto.

A população e os tratamentos da fase líquida e da fase sólida das ETAR de maior relevância em termos de caudal e população servida nas referidas regiões são descritos na Tabela 25.

Tabela 25: ETAR com digestão anaeróbia no Algarve, Lisboa e Porto

<i>Designação</i>	<i>População equivalente (hab eq.)</i>	<i>Tratamento da fase líquida</i>		<i>Tratamento da fase sólida</i>		
		<i>Tipo</i>	<i>Nível</i>	<i>Estabilização</i>	<i>Desidratação</i>	<i>Regime</i>
<b><i>Algarve e Sul</i></b>						
Faro Nascente	87 500	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Contínuo
Quinta do Lago	27 000	LA + Biofiltros + Químico + UV	T+D	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo
Silves	15 300	LP+UV	S+D	Anaeróbia	Filtros banda	Contínuo
Lagoa	8 250	LP	S	Anaeróbia	Centrifuga	Contínuo
S. Bartolomeu de Messines	6 000	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo

Lagos	138 000	(LP+LA)+ UV	S+D	Anaeróbia	Centrífuga	Contínuo
Burgau/ Cardal	10 000	LE	S	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
Odeceixe	5 420	LP+UV	S+D	Anaeróbia	Desidratação noutra ETAR	Descontínuo
Figueira/Sale ma	4 420	LE+UV	S+D	Anaeróbia	Equipamento móvel	Descontínuo
<b><i>Lisboa e Centro</i></b>						
Guia	800 000	RB+UV	S+D	Anaeróbia	Centrífuga	Contínuo
Beirolas	213 510	LA+UV	S+D	Anaeróbia	Filtros de banda	Contínuo
Frielas	700 000	TA + Biofiltros + UV	S+D	Anaeróbia	Centrífugas	Contínuo
S. João da Talha	130 000	LA	S	Anaeróbia	--	--
Chelas	211 000	TA+UV	S+T+D	Anaeróbia	---	---
Vila Franca de Xira	73 220	RABD	S	Anaeróbia	Centrífugas	Descontínuo
Castelo Branco	95 000	TA/VO	S	Anaeróbia	Centrífugas	Descontínuo
<b><i>Porto e Norte</i></b>						
Ave	257 557	LA+UV	T+D	Anaeróbia	Equipamento mecânico	Contínua
Bragança	22 659	LA	S	Anaeróbia	Filtros Banda	Contínuo

LE – Lagoa de Estabilização; LA – Lamas Activadas; UV – Ultra Violeta; LP – Leitos Percolador; RB – Reactor Biológico; TA – Tanque de Arejamento; VO – Vala de Oxidação; RABD – Reactor Aeróbio de Biomassa Dispersa; S – Tratamento Secundário; T – Tratamento Terciário, D – Desinfecção.

Do total das ETAR existentes no país seleccionou-se um total de 6 baseando-se na produção significativa de lamas tratadas algumas, para o desenvolvimento do presente trabalho. As características são descritas subsequentemente.

A primeira ETAR é responsável pelo tratamento de aproximadamente 62,16 milhões de m<sup>3</sup> de água residual obtida de uma área de cerca de 246 km<sup>2</sup>. O tratamento da fase líquida da AR nesta ETAR inicia-se com o tratamento preliminar onde são realizadas operações de tamisagem, desarenamento e desgorduramento, e os resíduos conseguidos nesta etapa (Berco, 2013). Posteriormente é realizado o tratamento primário baseado na adição de coagulantes e floculantes, de modo a permitir uma posterior decantação dos resíduos, que é realizada em decantadores lamelares. De seguida a AR é encaminhada para um reactor biológico e posteriormente ao decantador lamelar secundário, sucedido pelo filtro de pressão e por um desinfector UV (Fernandes, 2014).

O tratamento da fase sólida inicia com a recepção das lamas provenientes das instalações do tratamento da fase líquida, e tal recepção é realizada com operações de bombagem e de agitação de modo a garantir a homogeneização das lamas, posteriormente realiza-se o espessamento catalisado pela adição de polielectrólito e o armazenamento das lamas espessadas. De seguida as lamas são encaminhadas aos digestores anaeróbios e no final deste processo é realizada a desidratação das lamas digeridas que são depois armazenadas em silos, estas lamas são posteriormente encaminhadas para valorização agrícola ou para a secagem térmica. (Berco, 2013).

O biogás conseguido, parte dele é recirculado no digestor como forma de proporcionar agitação ao processo e outra parte é armazenada nos gasómetros para posteriormente passar por um pré-tratamento a base de Scrubber e um aproveitamento energético a partir de três co-geradores contando cada um com uma potência de 957 kWe. A fileira de tratamento de ETAR é esquematizada Figura 22.

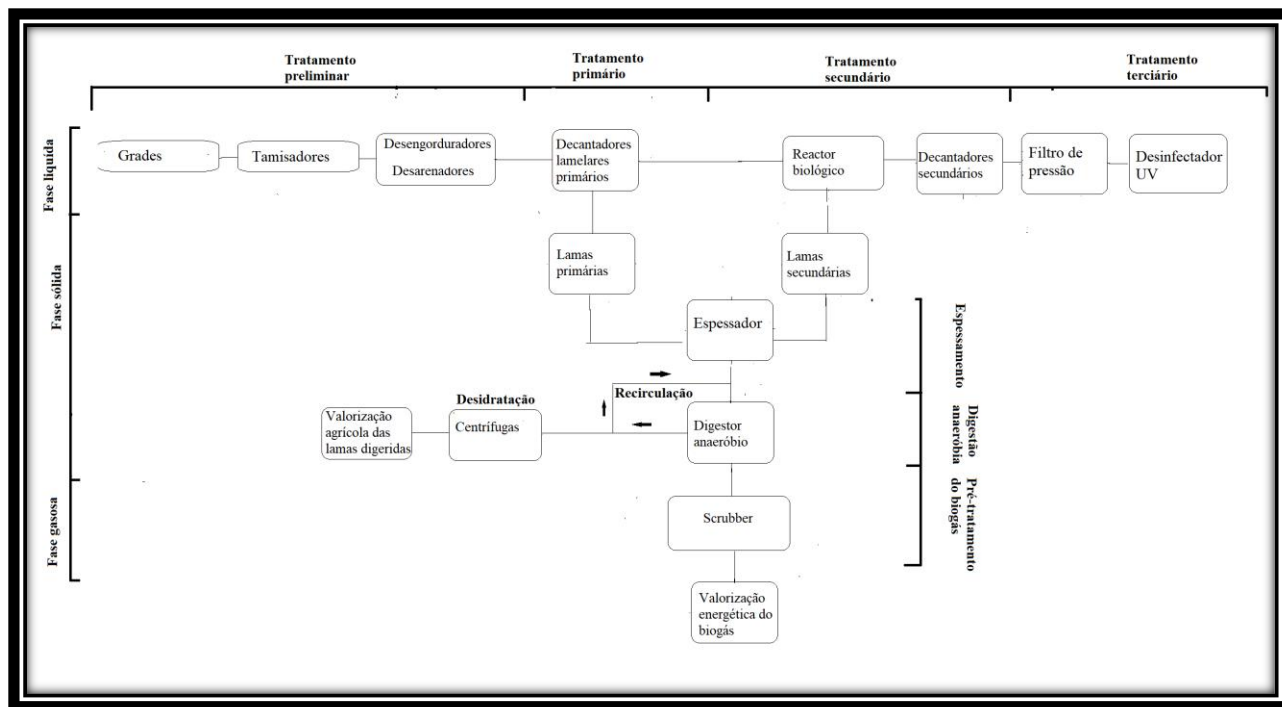


Figura 22: Fileira de tratamento da ETAR 1

A ETAR 2 ocupada uma área de aproximadamente 60 000 m<sup>3</sup> e é responsável pelo tratamento de cerca de 54 500 m<sup>3</sup> de AR diariamente (Fonte, 2017). A maior parte da AR bruta da entrada a estação por intermédio de sistema de bombagem e a outra parte por gravidade, ambas seguem para canais de gradagem, tamisagem e desarenadores sofrendo assim o tratamento preliminar. De seguida a AR é elevada de modo que a mesma consiga passar pelo tratamento primário gravitacionalmente. Este tratamento primário é baseado em um decantador primário seguido por uma bacia de equalização (Mendes, 2014).

O tratamento secundário é fundamentado em reactores biológicos de lamas activadas equipados com compressores de ar localizados na parte de baixo, responsáveis pela injeção de ar uma vez que o consumo de oxigénio é consideravelmente elevado. Após o reactor, a AR segue para um decantador secundário de modo a obter-se uma água com o mais baixo conteúdo de ST (Mendes, 2014). A desinfecção ou tratamento de afinação é realizado com o auxílio de canais UV responsáveis por atingir a qualidade microbial afixada.

As lamas produzidas no tratamento primário e secundário sofrem espessamento de modo a reduzir o conteúdo de água e seguem para o digestor anaeróbio responsável pela produção do

biogás. A lama digerida é depois desidratada com o auxílio de filtros de banda e adição de polímeros, e de seguida sofre uma estabilização química por meio da adição da cal viva, para elevar o pH e de seguida é encaminhada a valorização agrícola (Fonte, 2017). O biogás conseguido com a DA sofre um pré-tratamento a base de filtro de brita, purificador de “esponja” de ferro e madeira e secador Posteriormente o mesmo passa por um co-gerador com uma potência de 171 kWe, produzindo energia eléctrica que consegue suprir parte significativa das necessidade energética da entidade. Na Figura 23 apresenta-se um esquema da fileira de tratamento da ETAR

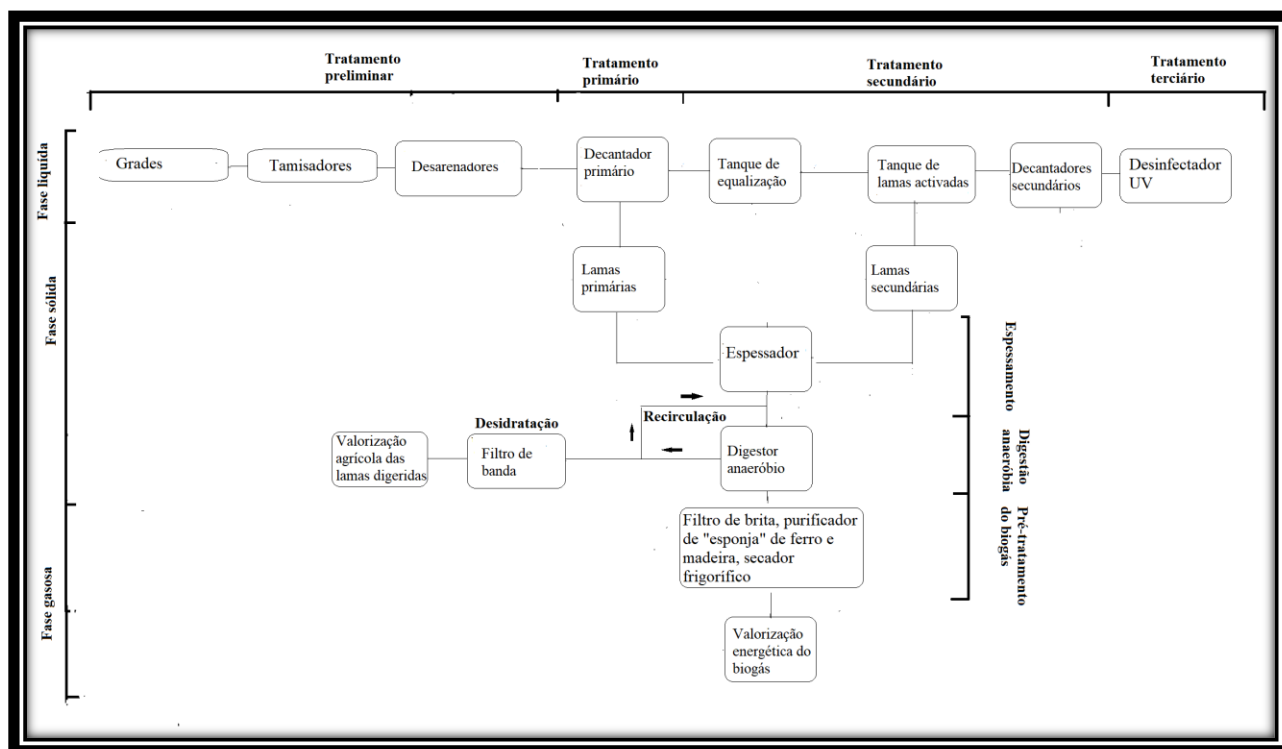


Figura 23: Fileira de tratamento da ETAR 2

A ETAR 3 trata um caudal diário de 52 500 m<sup>3</sup> de AR. O tratamento da fase líquida realizado nesta instituição estende-se até ao tratamento terciário, sendo o preliminar realizado por intermédio de operações como a gradagem, a desarenação (Águas do Tejo Atlântico, 2017).

O tratamento primário é realizado por meio de decantadores primários, equipados com raspadores de fundo e bombas, destinados a remover as lamas. O tratamento secundário é feito

através do processo de lamas activadas e de seguida o efluente é encaminhado pra os decantadores secundários, de modo a reduzir o teor de sólidos e a  $CBO_5$  à valores padronizados (Garcia, 2015). O tratamento terciário é primeiramente feito por meio de filtros de areia e depois pela introdução de uma dose de cloro já pré-estabelecida.

O tratamento da fase sólida inicia-se com a realização de um espessamento, que visa reduzir a humidade presente nas lamas. De seguida a lama sofre uma estabilização química, através da adição da cal viva como forma de elevar o pH da mesma, e posteriormente da entrada nos digestores anaeróbios de modo a que possa ser realizada a produção do biogás. As lamas digeridas sofrem valorização agrícola (Garcia, 2015).

Segundo o inquérito enviado a esta entidade, tratamento da fase gasosa inicia-se com um pré-tratamento do biogás a base de um purificador de “esponja” de ferro e madeira. Posteriormente o biogás passa por dois co-geradores tendo cada um uma potência de 140 kWe, produzindo energia eléctrica que consegue suprir parte das necessidade energética da entidade. Um esquema da fileira de tratamento da ETAR englobando as fases líquida, sólida e gasosa é apresentada na Figura 24.

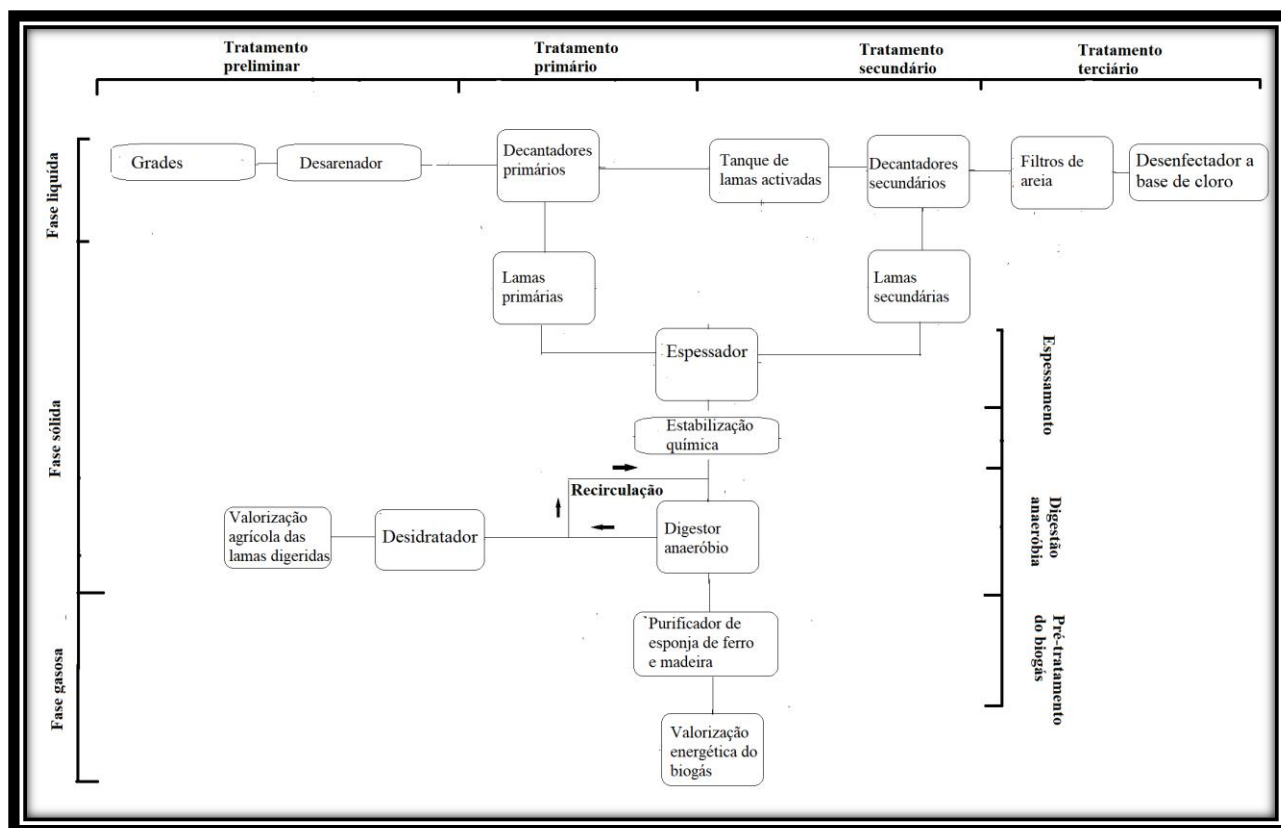


Figura 24: Fileira de tratamento da ETAR 3

A ETAR 4 tem capacidade para tratar cerca de 70 000 m<sup>3</sup> de AR diariamente. No tratamento preliminar realizam-se as operações de gradagem, tamisação, desarenamento e desengorduramento, sendo estas duas últimas realizadas no mesmo órgão onde decorre simultaneamente a flotação e a decantação (Fonte, 2017).

O tratamento primário baseia-se na realização de uma decantação por meio de decantadores lamelares, que nesta ETAR são antecedidos por um tanque de mistura rápida para a adição do coagulante, um tanque destinado a realizar o ajuste do pH e um tanque de mistura rápida para a adição do floculante. Posteriormente, as AR residuais são elevadas por meio de parafusos de Arquimedes até aos tanques de equalização equipados com agitadores e arejadores destinados a garantir a homogeneização da água (Caroço, 2009).

O tratamento secundário é realizado em tanques de lamas activadas equipado com difusores, e de seguida é realizada a decantação nos decantadores secundários. O efluente tratado sofre

novamente uma elevação por meio de parafusos até aos biofiltros onde sofre uma clarificação e remoção de poluentes solúveis, e por fim é realizada uma desinfecção por meio de radiações UV (Caroço, 2009).

As lamas primárias obtidas são encaminhadas para um espessador gravítico e as lamas secundárias ou biológicas para o espessador por flotação. No fim deste processo as lamas são misturadas e digeridas em digestores anaeróbios de modo a produzir o biogás, e posteriormente o produto obtido e desidratado por centrífugas e armazenado em silos para poderem ser valorizados agricolamente (Fonte, 2017).

Segundo o inquérito enviado a esta entidade o biogás sofre um pré-tratamento a base de limalha de ferro, lavadores de biogás e secador frigorífico. Posteriormente o biogás passa por dois co-geradores com uma potência de 726 kWe produzindo assim energia eléctrica possível de ser usado a nível interno. Na Figura 25 é apresentado o esquema da fileira de tratamento da ETAR.

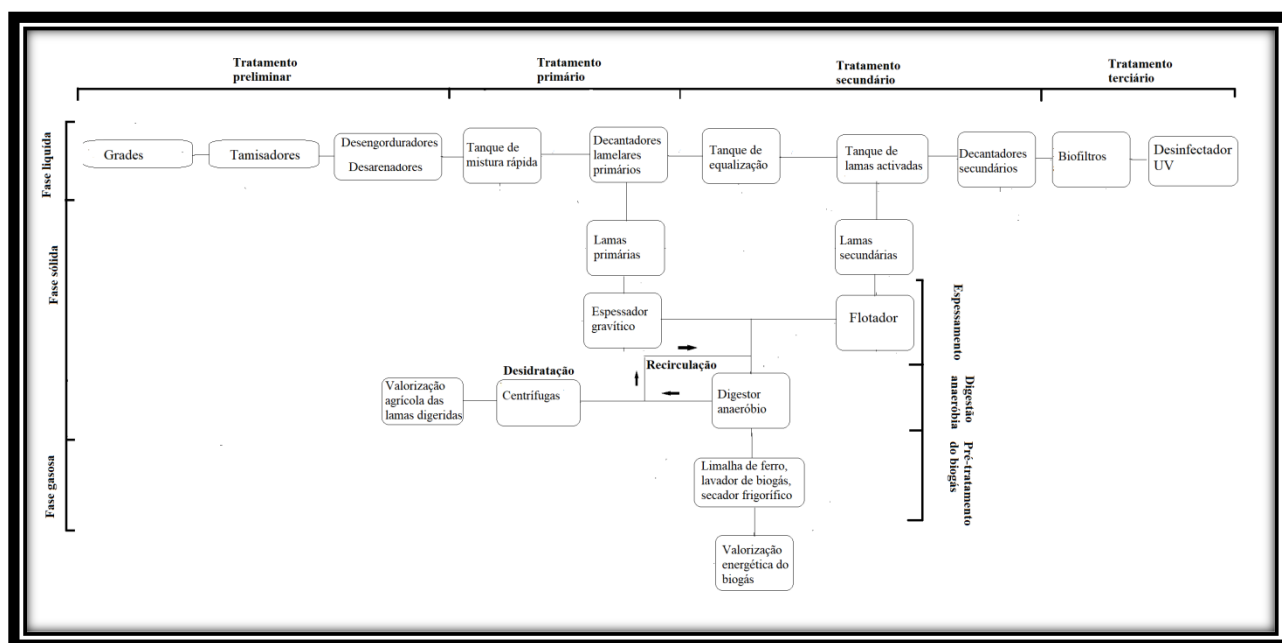


Figura 25: Fileira de tratamento da ETAR 4

A ETAR 5 trata um caudal diário de 21 082 m<sup>3</sup>, iniciando tal actividade com a fase preliminar, que é dotada de operações de gradagem, tamisagem e desarenamento auxiliada por bombas responsáveis pelo encaminhamento dos resíduos obtidos para destinos predefinidos. O

tratamento primário é realizado por intermédio de decantadores primários e o tratamento secundário por meio de tanques de arejamento de lamas activadas equipados com agitadores submersíveis e sucedido por decantadores secundários. Ainda é realizado o tratamento terciário destinado a remoção de azoto e fósforo uma vez que a descarga é realizada num meio receptor sensível (Grundfos, 2017).

Segundo o inquérito enviado a esta entidade, as lamas obtidas no tratamento primário são encaminhadas a um espessador gravítico e as obtidas no tratamento secundário seguem para duas mesas de espessamento. Posteriormente tais lamas espessadas, são misturadas e encaminhadas ao digestor anaeróbio. É de referir que as lamas biológicas (secundárias) são recirculadas de modo a passarem novamente pela linha de tratamento e parte das lamas digeridas no digestor anaeróbio também sofrem o mesmo processo objectivando a optimização da DA, sendo que a outra parte é desidratada com base nas operações de valorização R13 segundo o Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho.

De Maio a Setembro de 2016 foram incorporados na DA, resíduos provenientes dos efluentes de queijarias (12 m<sup>3</sup>/d), e de Agosto de 2016 a Novembro de 2017 integraram-se resíduos provenientes dos efluentes das fossas sépticas de zona industrial (11 m<sup>3</sup>/d).

O biogás produzido não sofre pré-tratamento contudo, é valorizado energeticamente em centrais de cogeração com 170 MW de capacidade (Grundfos, 2017). Um resumo esquemático da fileira de tratamento da ETAR é apresentado na Figura 26.

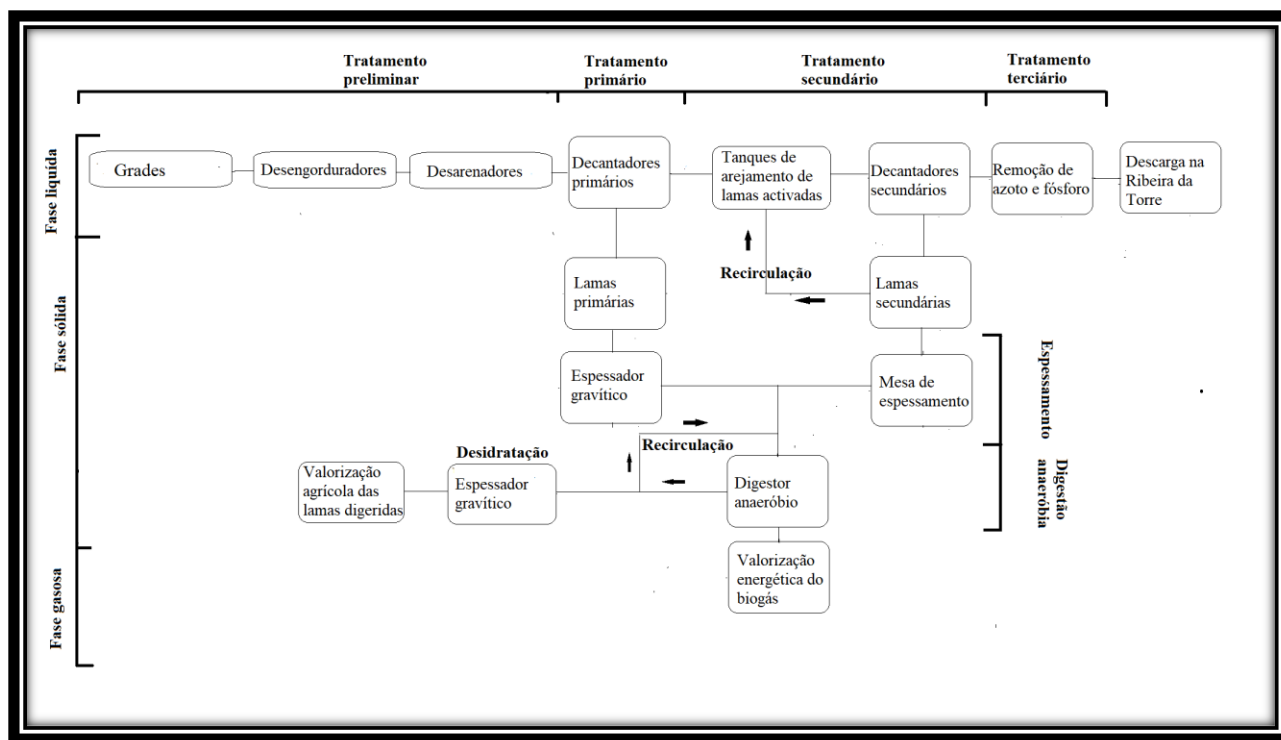


Figura 26: Fileira de tratamento da ETAR 5

A ETAR 6 foi dimensionada para o tratamento de cerca de 41 800 m<sup>3</sup>/d. A sua fase líquida de tratamento contempla as etapas de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário (Águas do Algarve, 2017).

A etapa preliminar é constituída por desengorduradores e desarenadores responsáveis pela remoção de gorduras e areias. Após esta etapa o efluente segue para o tratamento primário realizado através de decantadores primários (Águas do Algarve, 2017).

O tratamento secundário apresenta uma particularidade nesta ETAR uma vez que o mesmo possui duas linhas de tratamento. Ou seja, 40 % da AR que chega a este nível é tratada por intermédio de leitos percoladores e os restantes 60 % são encaminhados para valas de oxidação que trabalham a média carga, contudo os produtos obtido no final destas formas de tratamento passam igualmente pela decantação secundária (Águas do Algarve, 2017).

Após o tratamento secundário o efluente é encaminhado para a desinfecção UV e posteriormente é segregado em duas linhas diferentes, sendo uma destinada para consumo interno como água de serviço e outra descarregada na Ribeira de Bensafirim (Águas do Algarve, 2017).

Segundo o inquérito enviado a essa entidade, o tratamento da fase sólida maioritariamente constituída por lamas obtidas no tratamento primário e secundário, inicia-se com a mistura dos dois substratos para de seguida serem encaminhados a um espessador gravítico. Posteriormente as lamas seguem para o digestor anaeróbio. É de salientar que nenhum outro tipo de substrato é incorporado no processo de DA. Parte do substrato digerido é recirculado e outra parte da entrada em espessadores gravíticos de modo a reduzir o seu teor de humidade, para depois pode ser usado na valorização agrícola. Tal valorização é feita em conformidade com o Decreto-Lei nº 73/2011, onde são realizadas operações de valorização R12.

A fase gasosa compreende basicamente o biogás conseguido na DA. O mesmo é pré tratado atravessando 3 filtros de malha de ferro para de seguida ser valorização energeticamente por intermédio de mini turbinas de cogeração. Um resumo da fileira de tratamento da ETAR é apresentado na Figura 27.

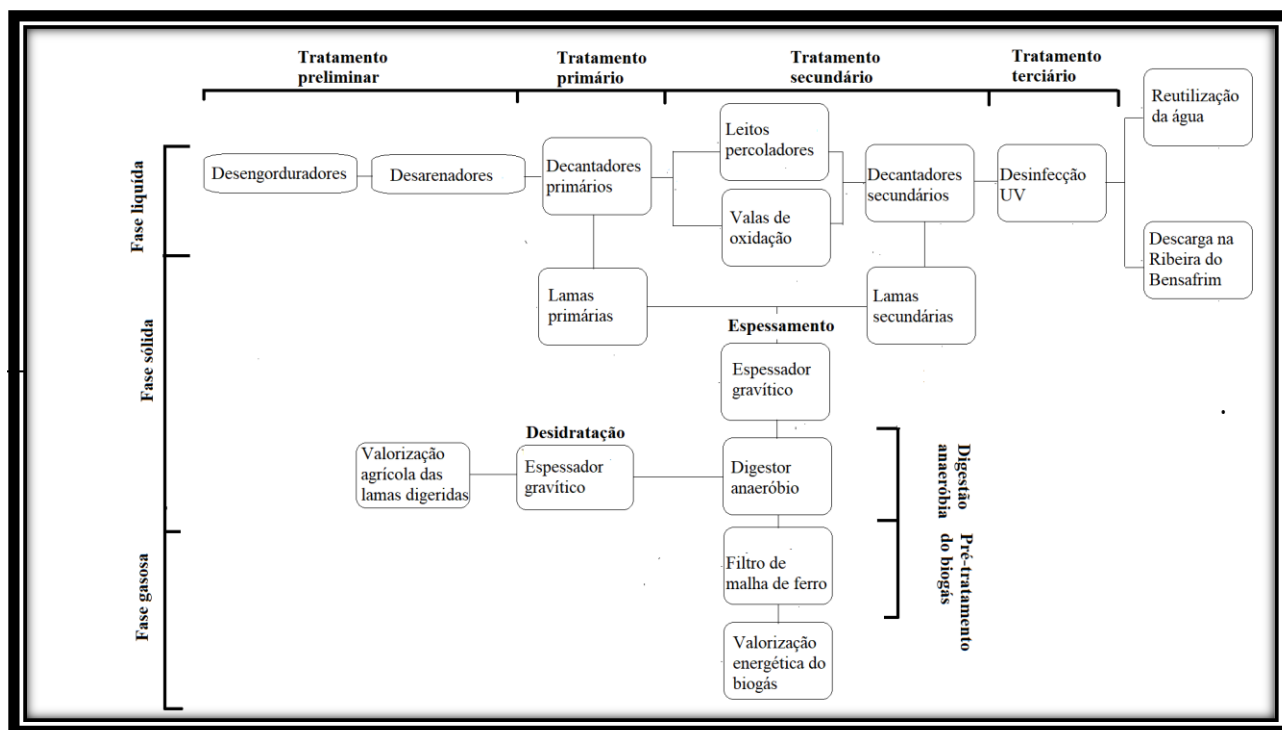


Figura 27: Fileira de tratamento da ETAR 6

Os parâmetros do processo de DA que foram fornecidos pelas entidades gestoras das ETAR seleccionadas são descritos na Tabela 26.

Tabela 26: Parâmetros dos digestores anaeróbios e condições operatórias

<i>ETAR</i>	<i>Dimensões do digestor</i>					<i>Condições operatórias</i>		
	<i>Nº</i> <i>(un)</i>	<i>V</i> <i>(m³)</i>	<i>A</i> <i>(m²)</i>	<i>H</i> <i>(m)</i>	<i>H.útil</i> <i>(m)</i>	<i>t<sub>RH</sub></i> (d)	<i>Agitação</i>	<i>pH</i>
1	3	7 168	531	16,1	13,5	-	Biogás	6,4±0,2
2	2	2 470	454	15,1	13,2	-	Mecânica	6,0±0,3
3	2	1 800	194	12,2	7,4	-	Biogás	6,1±0,2
4	3	4 000	360	15,9	12,0	-	Mecânica	6,8±0,2
5	2	1 200	94	12,8	11,4	-	Mecânica	6,1±0,2
6	1	1845	620	18,8	16,6	12	Mecânica	5,9±0,4

Dos parâmetros apresentados na Tabela 26 verifica-se que a ETAR com o maior número de digestores é a ETAR 1 contando cada um com um volume de 7 168 m<sup>3</sup>. A ETAR 6 é a única que apresenta apenas 1 digestor com um volume de 1845 m<sup>3</sup>. Para todas as ETAR a DA é realizada é em um único estágio, os sistemas de agitação são maioritariamente feito por agitação mecânica exceptuando as ETAR 1 e 3 que a operação é feita por injeção de biogás. A ETAR 6 é a que apresenta o menor pH, com um valor médio de 5,9.

### 10.3. Caracterização dos parâmetros de desempenho do processo da DA

Para a caracterização dos parâmetros de desempenho foi necessário a determinação do  $t_{RH}$ , uma vez que o mesmo só foi disponibilizado pela ETAR 6 ( $t_{RH} = 12$  d). Para as restantes ETAR determinou-se o  $t_{RH}$  com base na expressão 1 que relaciona o volume do digestor e o caudal de lamas afluentes (lamas mistas).

O  $t_{RS}$  não foi fornecido por nenhuma EG das ETAR, tendo sido determinado com base na expressão 2, porém no emprego desta expressão admitiu-se que a concertação de biomassa dentro do reactor é igual à concentração de biomassa no efluente.

Os resultados obtidos são apresentados nas Figura 28 e Figura 29 para o  $t_{RH}$  e o  $t_{RS}$ , respectivamente.

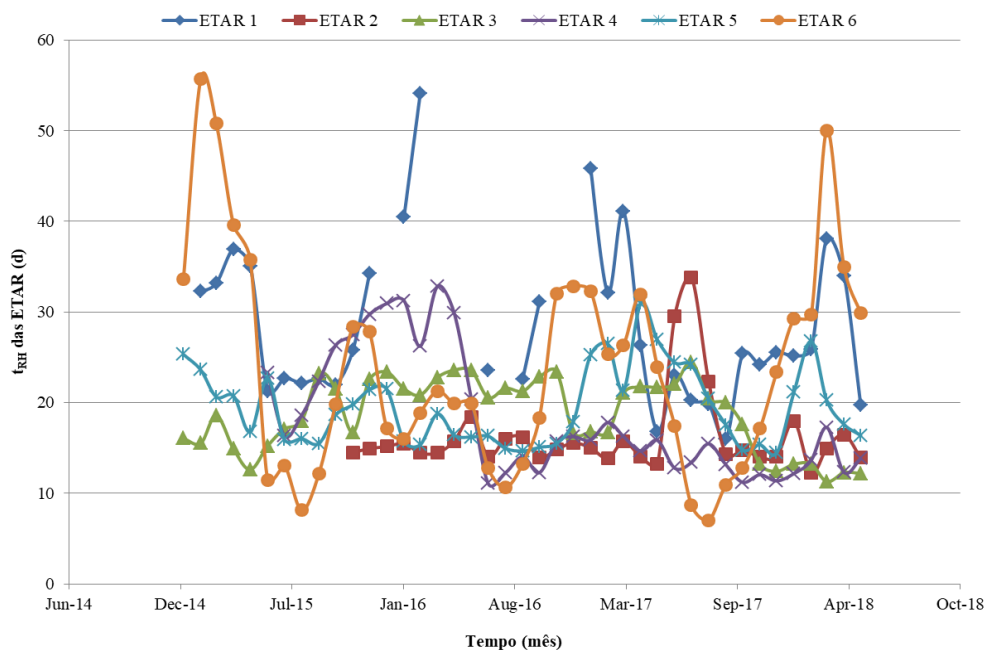


Figura 28: Variação do  $t_{RH}$  das ETAR seleccionadas

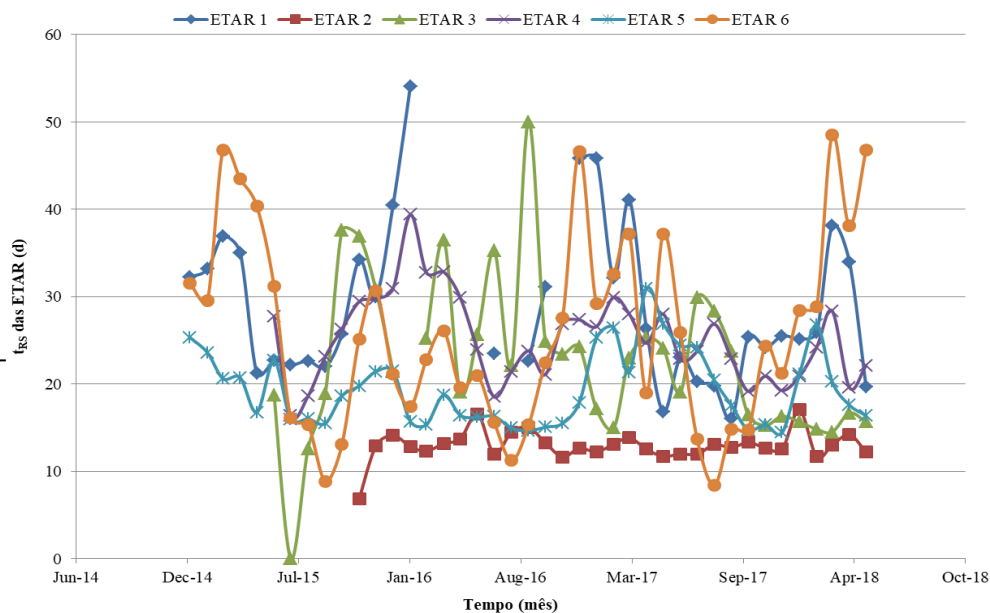


Figura 29: Variação do  $t_{RS}$  das ETAR seleccionadas

Parte dos valores de  $t_{RH}$  e de  $t_{RS}$  mensais para cada digestor anaeróbio foram determinados o máximo, mínimo e medianas (Tabela 27).

Tabela 27:  $t_{RH}$ ,  $t_{RS}$  e temperatura dos digestores anaeróbios das ETAR seleccionadas

<i>ETAR</i>	<i>t<sub>RH</sub></i> (d)			<i>t<sub>RS</sub></i> (d)			<i>T</i> (°C)
	Max	Med	Min	Max	Med	Min	
<b>1</b>	54	26	17	54	26	16	34,4
<b>2</b>	34	15	12	16	13	7	30,1
<b>3</b>	24	20	12	50	22	13	30,5
<b>4</b>	33	16	11	39	24	16	35,2
<b>5</b>	31	19	15	31	19	15	35,0
<b>6</b>	51	12	7	48	25	8	28,0

Os valores de  $t_{RH}$ , para a ETAR 1, encontram-se dentro dos intervalos normalmente observados para a temperatura a que o processo de DA é realizado, 26 dias. Para as outras ETAR, principalmente para a ETAR 6 o valor encontra-se abaixo dos intervalos de referência, 12 dias ( $t_{RH}$  de 20 a 30 dias - capítulo 2.3.2).

Os valores de  $t_{RS}$ , na maior parte das ETAR são aceitáveis para um bom desenvolvimento da biomassa, pois encontra-se acima do que é recomendado (mínimo de 10 dias), o que pode traduzir-se num bom desempenho das bactérias metanogénicas (Jang *et al.*, 2014).

### 10.3.1. Lamas

#### 10.3.1.1. Lamas afluentes

Face à fileira de tratamento apresentada pelas ETAR seleccionadas todas têm produção de lamas primárias e secundárias, sendo de destacar a ETAR 1 que apresenta uma produção maioritária de lamas primárias (>95%) (Figura 30).

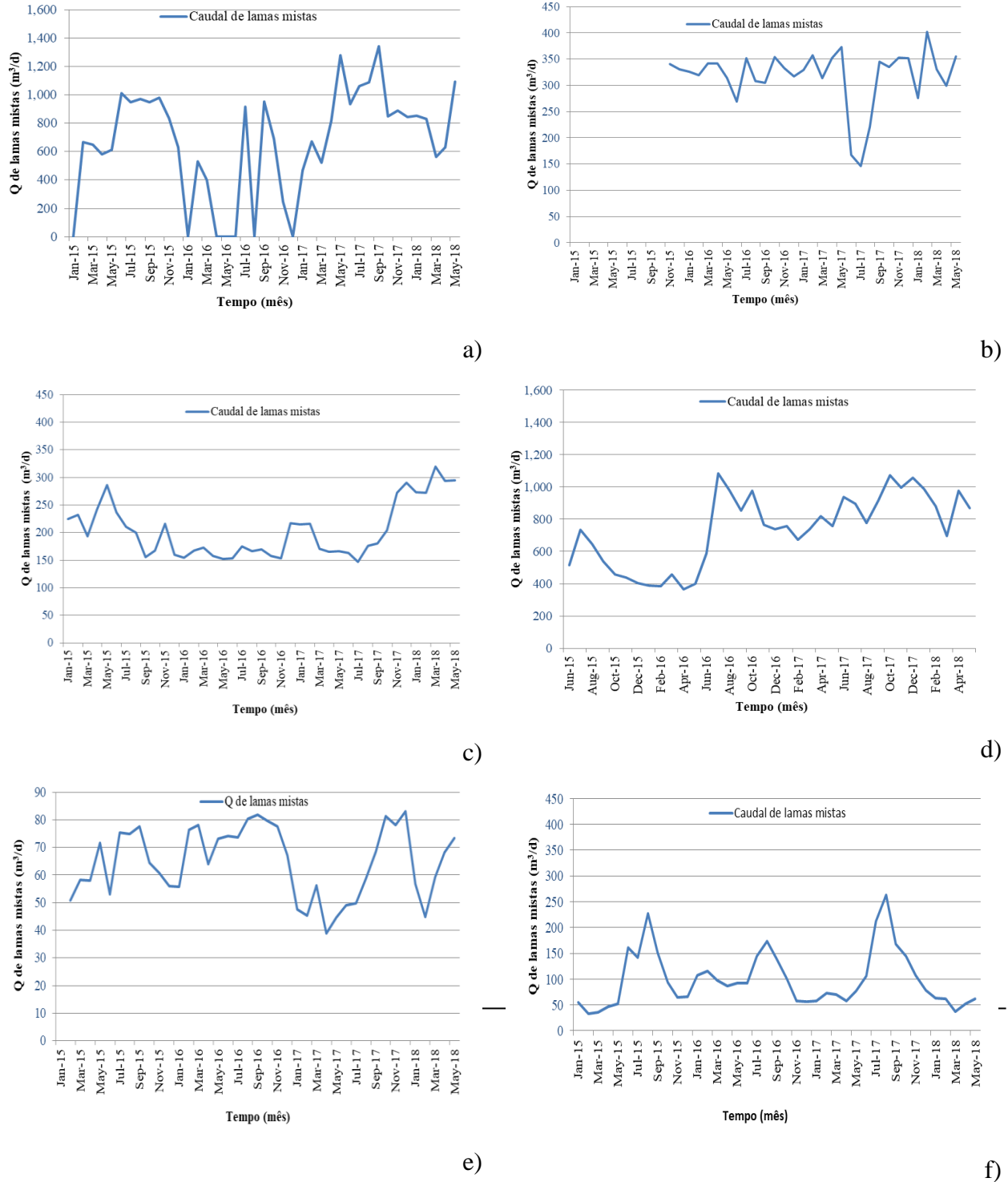


Figura 30: Caudal de lamas mistas nas: a) ETAR 1, b) ETAR 2, c) ETAR 3, d) ETAR 4, e) ETAR 5 e f) ETAR 6

Como se pode observar o caudal de lamas mistas das 6 ETAR apresenta valores muito discrepantes entre as mesmas, o que se deve essencialmente à capacidade de tratamento de águas

residual instalada para cada ETAR. Das ETAR apresentadas, a ETAR 1 é a que apresenta maior quantidade de lamas mistas, com uma média de 804 m<sup>3</sup>/d (Figura 30 a).

Na ETAR 2, no início do período em análise, de Janeiro à Novembro de 2015, não foi monitorizado o caudal. Nos restantes períodos o caudal médio foi de 318 m<sup>3</sup>/d (Figura 30 b).

As ETAR 3, 4 e 6, apresentaram valores de caudais médios de 203, 736, 100 m<sup>3</sup>/d, respectivamente (Figuras 30 c, d, f).

A ETAR 5 introduziu outro substrato durante certos períodos, de Maio a Setembro de 2016 - resíduos de queijarias e de Agosto de 2016 a Novembro de 2017 - resíduos de efluentes de fossas sépticas (Figura 30 e). Contudo, esta ETAR foi a que apresentou o caudal de lamas mistas médio mais baixo cerca de 65 m<sup>3</sup>/d.

Em termos de composição as lamas mistas (primárias + secundárias) as lamas das ETAR apresentam valores de ST entre 2 e 7 % e SV de 66 a 81 % (Figura 31).

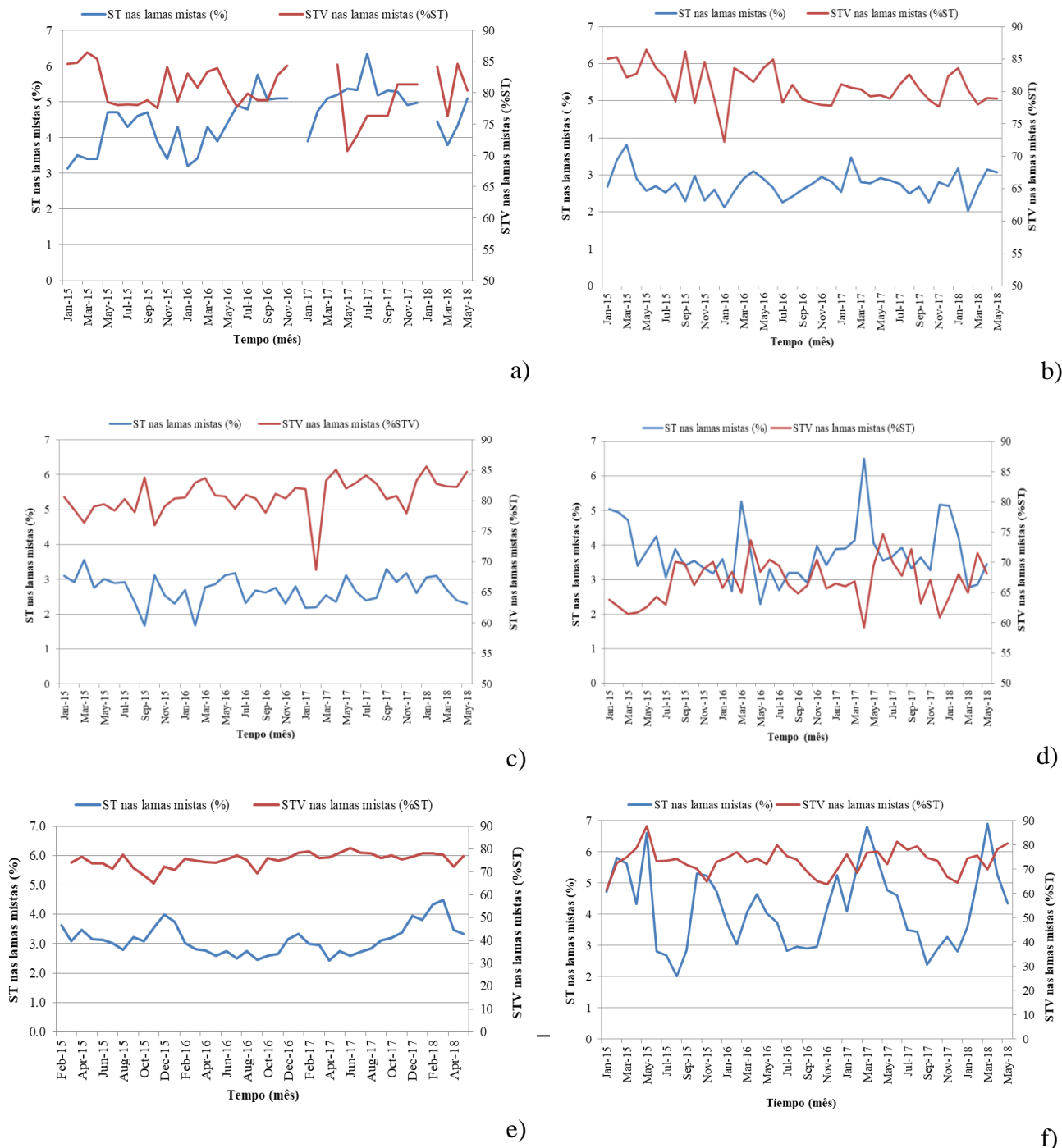


Figura 31: ST e SV nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6

Na ETAR 1, os ST não foram monitorizados em certos períodos (Figura 31 a), tendo apresentado teores de ST de 4,5 % com uma média de 78 % de SV.

Para a ETAR 2, os ST que foram monitorizados apresentaram uma média de 2,8 % com cerca de 81 %ST de SV (Figura 31 b). A ETAR 3 apresentou valores de ST médio de 2,7 % com 80,8

%ST de SV (Figura 31 c). A ETAR 4, apresentou valores de ST médio de 3,8 % (Figura 30 d) com cerca de 66,8 %ST de SV.

É possível verificar que a incorporação de resíduos diferentes das lamas, realizada pela ETAR 5, no período em análise, não trouxe consigo diferenças significativas nos de ST totais que apresentou teores de 3,1 % com conteúdo de SV médio de 23,6 %ST, este conteúdo é o mais baixo relativamente a todas as ETAR seleccionadas (Figura 31 e). A ETAR 6 registou flutuações mínimas para os ST apresentando valores mínimos de 4,2 % (Figura 31 f) com cerca de 73,4 %ST de SV.

#### 10.3.1.2. Lamas efluentes

As lamas efluentes (ou mistas) de cada processo anaeróbio das ETAR seleccionadas e quantidade de SV existente nos respectivos caudais são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28: Caudal de lamas efluentes e quantidade de SV nas ETAR seleccionadas

<i>ETAR</i>	<i>Caudal das lamas digeridas (m<sup>3</sup>/d)</i>	<i>SV (%ST)</i>
1	681,0	31,8
2	379,0	50,7
3	158,0	55,3
4	493,4	47,0
5	64,2	48,4
6	86,7	65,0

O caudal das lamas digeridas, engloba o caudal das lamas recirculadas, porém este último caudal não foi monitorizado em nenhuma ETAR. É visível que os caudais das lamas digeridas apresentam uma quantidade de SV inferior relativamente ao que apresentado para as lamas afluentes, o que já era de se esperar devido a conversão dos mesmos em biogás durante a DA.

#### 10.3.1.3. Eficiência de conversão de SV

A eficiência da DA nas ETAR em termos de conversão de SV, encontra no intervalo compreendido entre 30 – 58 % avaliada em função da capacidade de remoção de ST (Tabela 29). Porém a ETAR 6 não forneceu dados relativos a tal parâmetro.

Tabela 29: Eficiência de remoção de SV nas ETAR seleccionadas

<i>ETAR</i>	<i>Carga de SV nas lamas mistas (kg/d)</i>	<i>Conversão de SV (%)</i>	<i>Carga de SV nas lamas digeridas (kg/d)</i>
1	29541	52	14 180
2	6 910	38	4 284
3	4451	30	3 116
4	20406	47	10 815
5	1517	58	637
6*	2739	28	1 972

\*Valor de conversão de SV (%) calculado

Assim para a ETAR 6 a eficiência de conversão de SV foi determinado com base nos dados fornecidos relativamente à variação do SV durante o processo de DA. Assim, considerando que é possível obter 0,7 Nm<sup>3</sup> de biogás por kg de SV de lamas (Grosser *et al.*, 2017) e sabendo o caudal médio de biogás produzido na ETAR, determinou-se a quantidade de SV que teriam sido degradados para se produzir este caudal de biogás, e sendo a eficiência traduzida como a quantidade de SV degradados, converteu-se o valor obtido em percentagem de SV relativamente a quantidade inicial de SV que se tinha nas das lamas mistas (expressão 7). Assim sendo obteve-se um valor médio de 28 % SV destruídos.

$$R_{SV} = \frac{W_{SV \text{ entrado}} - W_{SV \text{ saído}}}{W_{SV \text{ entrado}}} * 100 \quad (7)$$

Onde:

$R_{SV}$  – degradação de SV (%)

$W_{SV \text{ entrados}}$  – caudal mássico dos SV entrado no digestor (kg/d)

$W_{SV \text{ saídos}}$  – caudal mássico dos SV saídos do digestor (kg/d)

### 10.3.2. Biogás

#### 10.3.2.1. Quantidade e qualidade do biogás

O biogás conseguido pelas ETAR inqueridas apresenta uma percentagem de CH<sub>4</sub> num intervalo compreendido entre 60-70 %, o que é bastante proveitoso. Na Figura 32, é apresentada uma média mensal do caudal do biogás e do CH<sub>4</sub> produzido por cada ETAR.

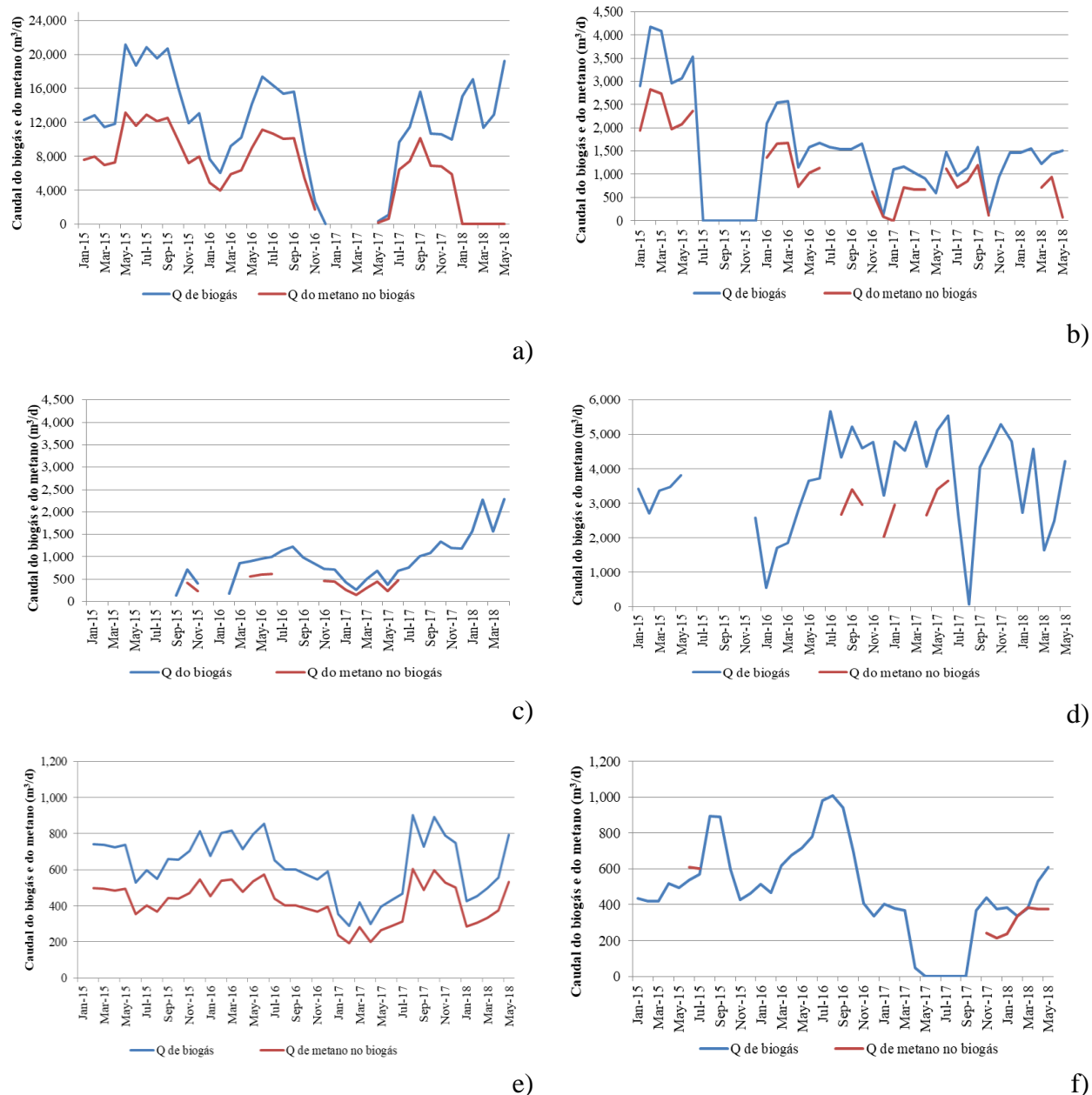


Figura 32: Variação do caudal do biogás e do metano nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6

Os valores, para o caudal de CH<sub>4</sub> nas ETAR, foram determinando com base na percentagem que o mesmo gás ocupa no biogás. Ou seja, multiplicou a percentagem de CH<sub>4</sub> pelo caudal de biogás observado

Das ETAR seleccionadas, a ETAR 1, é que produziu maior caudal de biogás, com valores médios de 11180 m<sup>3</sup>/d, porém durante o período compreendido entre Dezembro de 2016 e Abril de 2017 não realizaram-se medições ao caudal de biogás e quantidade de CH<sub>4</sub> presente no mesmo foi em média de 62 % (Figura 32 a). A monitorização do CH<sub>4</sub>, de Novembro de 2016 à Maio de 2017, não foi realizada.

A ETAR 2, no início do período em análise registou uma produção de biogás que rondava os 4000 m<sup>3</sup>/d, porém com o decorrer do tempo a produção reduziu consideravelmente ficando actualmente por volta dos 1500 m<sup>3</sup>/d (Figura 32 b). A percentagem de CH<sub>4</sub> foi em média de 67 %, contudo de Julho à Dezembro de 2015, de Julho a Outubro de 2016 e de Novembro de 2017 à Fevereiro de 2018 o mesmo gás não foi monitorizado.

A ETAR 3 produziu 936 m<sup>3</sup>/d (Figura 32 c); A ETAR 4 produziu em média 3 180 m<sup>3</sup>/d de biogás (Figura 32 d); a ETAR 6, foi a que menos caudal de biogás produziu, apresentando uma média de 474 m<sup>3</sup>/d (Figura 32 f). A ETAR 3, obteve uma percentagem de CH<sub>4</sub> de 62%, e as ETAR 4 e 6 obtiveram uma percentagem média de 64% do mesmo gás, porém houveram longos períodos de ausência de monitorização do CH<sub>4</sub> para as 3 ETAR

A DA das lamas na ETAR 5 produziu um caudal médio de biogás de 637 m<sup>3</sup>/d com uma média do CH<sub>4</sub> (67 %) e foi com o mesmo que se desenvolveu o gráfico na Figura 32 e).

---

#### *10.3.2.2. Produção específica de biogás*

---

Os parâmetros de desempenho calculados foram relativos a quantidade de biogás possível de ser obtida por unidade de lamas mistas e por unidades de substratos incorporados na co-digestão, assim sendo dividiu-se o valor médio do caudal de biogás pelo caudal médio volúmico e mássico das lamas mistas. É de salientar que a co-digestão, só foi realizada numa das ETAR seleccionadas, a ETAR 5, que incorporou no processo resíduos provenientes de efluentes de queijarias de Maio a Setembro de 2016 e resíduos provenientes de efluentes de fossa sépticas da zona industriais de Agosto de 2016 a Novembro de 2017, e a determinação dos parâmetros para

este caso foi efectuado de forma similar porém considerando somente os caudais médios durante os períodos em que foi realizada a co-digestão. Os resultados obtidos da produção de biogás das seis ETAR são apresentados na Tabela 30. Contudo é possível observar que a quantidade de biogás produzido por co-digestão das lamas mistas com os resíduos acima referenciados, não foi muito diferente da quantidade conseguida com a digestão somente das lamas.

Tabela 30: Produção do biogás nas ETAR seleccionadas

<b><i>ETAR</i></b>	<b><i>Biogás /Lamas mistas (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Biogás/ Lamas mistas (m<sup>3</sup>/kg)</i></b>	<b><i>Biogás/co-digestão (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</i></b>
1	16,4	0,4	-
2	4,4	0,2	-
3	4,3	0,2	-
4	4,5	0,1	-
5	10,0	0,3	9,0
6	5,9	0,1	-

### **10.3.3. Energia**

#### 10.3.3.1. Produção energética

A fracção das necessidades energéticas supridas pela energia conseguida pelo biogás, ainda é consideravelmente pequena, pois na maioria das entidades gestoras inquiridas mais de 50% de tais necessidades são colmatadas pela energia eléctrica comprada à entidade responsável pela sua comercialização (Figura 33).

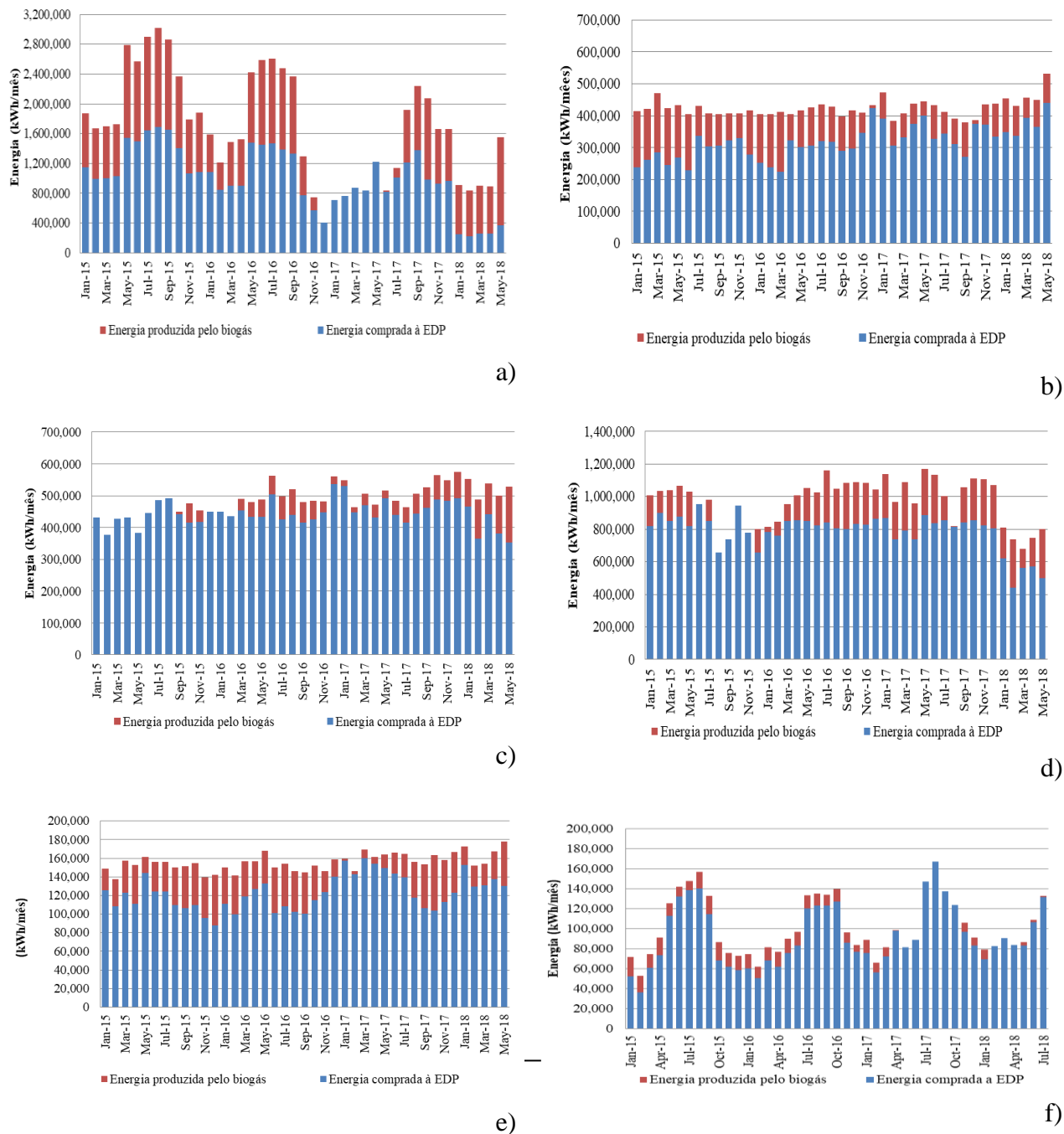


Figura 33: Energia eléctrica produzida e comprada a EDP nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6

A ETAR 1 é a que produz maior quantidade de energia eléctrica com valores próximos de 23 161 kWh/d (Figura 33 a). Tal produção não se deve somente a quantidade de biogás disponível para ser usado na operação, mas também ao tipo de equipamento usado para a realizar, e esta

ETAR conta com o co-gerador de maior potência comparativamente a todas as ETAR seleccionadas, 957 kWe.

As ETAR 2 e 5 são as que apresentaram uma produção de energia mais invariante durante o período analisado com valores médios diários de 3497 e 1093 kWh respectivamente (Figura 33 b e e). As ETAR de 3 e 4, produziram médias de energia de aproximadamente 1 396 e 6 356 kWh/d respectivamente (Figura 33 c e d). E a ETAR 6, é a que produziu menor quantidade de energia apresentados valores médios de 317 kWh/d (Figura 33 f).

Com base em tais valores médios de energia eléctrica produzida e admitindo um PCI de 25 000 determinou-se a eficiência de cogeração das ETAR, os valores são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31: Eficiência de cogeração de energia eléctrica nas ETAR seleccionadas

<i>ETAR</i>	<i>Energia possível de produzir (PCI) (kWh/d)</i>	<i>Energia produzida (kWh/d)</i>	<i>Eficiência de cogeração (%)</i>
1	82 985	23 161	29
2	11 350	3 497	33
3	6 668	1 396	30
4	24 239	6 356	28
5	4 200	1 093	25
6	3 613	317	12

### 10.3.3.2. Eficiência de conversão energética

Os parâmetros de desempenho aqui determinados são relativos a quantidade de energia eléctrica possível de ser obtida por unidade de biogás e por unidade de lamas mistas. Para a determinação de tais parâmetros efectuou-se o quociente entre a energia média produzida e o caudal volúmico médio das lamas mistas e também o quociente da mesma energia com o caudal médio de biogás. A percentagem de redução da compra de energia eléctrica pelas ETAR, foi determinada realizando o quociente entre a energia produzida e a energia gasta (Tabela 32). A energia térmica conseguida, praticamente não é utilizada na maior parte das ETAR, porém a ETAR 6 utiliza a mesma para o aquecimento do seu digestor. E a quantidade de energia produzida por co-digestão das lamas mistas com os resíduos que foram incorporados na ETAR 5, não diferenciou-se

consideravelmente da quantidade conseguida com a digestão somente das lamas. A redução da quantidade de energia eléctrica comprada à EDP nas ETAR seleccionadas varia consideravelmente entre as mesmas, sendo a ETAR 1 a que consegue poupar mais e a ETAR 6 à que poupa menos.

Tabela 32: Produção de energia nas ETAR seleccionadas

<b>ETAR</b>	<b><i>Energia/Lamas mistas (kWh/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Energia/Biogás (kWh/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Redução na compra de energia (%)</i></b>
1	28,1	1,9	37,0
2	10,4	2,7	24,9
3	8,9	2,0	10,7
4	7,9	2,0	18,1
5	12,6	1,3	20,7
6	0,7	4,2	10,6

## 10.4. Potencial de co-digestão anaeróbia na produção de energia

### 10.4.1. Considerações gerais

Os parâmetros de desempenho da DA nas ETAR seleccionadas são relativamente razoáveis, contudo os mesmos podem ser melhorados com alterações a nível processual e com a realização da co-digestão. Posto isto, foram desenvolvidos cenários visando demonstrar até que ponto a incorporação de substratos como a fracção orgânica dos resíduos urbanos (FORSU), o chorume de suiniculturas, e resíduos de frutas e legumes poderiam afectar o processo. Admitiu-se que DA é realizada praticamente nas mesmas condições à que é realizada somente as lamas das ETAR.

### 10.4.2. Cenário I – Pré-tratamento das lamas afluentes

A determinação do novo caudal total afluente, idealmente seria realizada com base no valor de  $t_{RH}$  considerado óptimo para a co-digestão (15 - 20 d), ou seja aplicando a expressão 1, uma vez que o volume do reactor é invariante e o tempo seria igual ao  $t_{RH}$  óptimo. Porém para as ETAR seleccionadas, exceptuando a ETAR 1, o  $t_{RH}$  apresentado é inferior ao  $t_{RH}$  óptimo, o que se

traduz em caudais superiores aos caudais que se iriam conseguir com base neste último  $t_{RH}$ , ou seja, esta é a única ETAR que apresenta capacidade para a realização de co-digestão. Assim sendo admitiu-se, para as restantes ETAR admitiu-se a realização de um pré-tratamento ao caudal das lamas, que resultaria no aumento da sua quantidade de ST, e consequentemente reduziria o mesmo caudal. Portanto assumiu-se 3 possíveis cenários deste pré-tratamento sendo o primeiro o aumento de ST em 1%, o segundo o aumento de ST em 2% e o terceiro o aumento para o dobro dos ST.

Determinou-se o caudal de biogás e consequente produção de energia para os 3 casos (Tabela 33) realizando uma co-digestão com um substrato genérico ( $S_0$ ) com valores médios de ST (18%) e de SV (85%) e admitindo que:

- a eficiência de remoção dos SV é de 50 %;
- a produção de  $CH_4$  é de  $0.5 \text{ m}^3/\text{kg}$  de SVT;
- A percentagem de metano no biogás é de 60%;
- O PCI é igual a  $25\,000 \text{ kJ/m}^3$ .

Tabela 33: Caudal e composição do co-substrato e energia

<i>Parâmetro</i>	<i>Cenário I.1</i>	<i>Cenário I.1</i>	<i>Cenário I.3</i>
Q total ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	419	419	419
ST das lamas (%)	4	5	6
Q de lamas mistas (Pré tratado) ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	319	257	210
Q de substrato ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	101	162	209
Razão (S/CS)	75/25	60/40	50/50
Concentração de ST ( $\text{kg/m}^3$ )	81	111	130
Q total mássico ( $\text{kg/d}$ )	34 001	46 207	22 758
SV ( $\text{kg/d}$ )	27 035	37 411	45 529
Biogás ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	9 393	12 994	15 957
$CH_4$ ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	5 636	7 796	9 574
Energia ( $\text{kWh/d}$ )	63 400	87 707	107 707

É visível que dos cenários apresentados o mais vantajoso é o **cenário I.3**, pois com a quantidade de substrato adicionado consegue-se produzir maior energia relativamente aos outros dois cenários. Assim sendo foi com base nas condições deste que se simulou a adição dos três substratos já referidos, porém a eficiência de remoção de SV considerada foi a apresentada pelas ETAR.

#### 10.4.3. Cenário II – Co-digestão anaeróbia com diferentes substratos,

Após selecção das melhores condições em termos de produção de energia do cenário I, foram aplicados substratos de resíduos urbanos e de agro-pecuárias. Assim, com base no que foi discutido no capítulo 5, admitiu-se que os FORSU apresentam cerca de 18,5% de ST e 91% de SV (%ST). Os chorumes da suinicultura apresentam 11% de ST e 82% de SV (%ST) e os resíduos de frutas e legumes apresentam 7,5 % com 90% de SV (% ST). Um resumo dos resultados é apresentado nas Tabela 34 - 36 e no Anexo V é apresentada uma tabela exemplo com um cálculo mais extensivo relativamente aos FORSU. A determinação da concentração dos SV foi realizada aplicando a seguinte expressão:

$$STV = \frac{(STV_{lamas} + STV_{substrato})}{Q_{total}}$$

Onde:

SV – concentração de SV, kg/m<sup>3</sup>;

SV<sub>lamas</sub> – carga de SV nas lamas. kg/d;

SV<sub>substrato</sub> – carga de SV no co substrato, kg/d;

Q<sub>total</sub> – caudal total a ser inserido, m<sup>3</sup>/d.

---

Tabela 34: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com a FORSU

	<b><i>FORSU</i></b>							
<b><i>ETAR</i></b>	<b><i>Q total*</i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>Razão</i></b> <b><i>(S/CS)</i></b>	<b><i>SV</i></b> <b><i>(kg/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Efi.</i></b> <b><i>Remoção</i></b> <b><i>de SV (%)</i></b>	<b><i>Biogás</i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>CH<sub>4</sub></i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>Energia</i></b> <b><i>produzida</i></b> <b><i>(kJ/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Energia</i></b> <b><i>produzida</i></b> <b><i>(kWh/d)</i></b>
1	781	50/50	74	52	36 202	21 821	905 057 775	244 366
2	318	50/50	106	38	10 670	6 403	266 769 368	72 028
3	203	50/50	106	30	5 393	3 236	134 843 904	36 408
4	737	50/50	109	47	31 442	18 865	471 632 754	127 341
5	63	50/50	108	58	3 868	2 321	85 873 968	23 186
6	100	50/50	115	28	2 763	1 658	69 071 763	18 649

\*Referente a soma do caudal de lamas mistas e do caudal do co substrato adicionado

Tabela 35: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com chorume de suinicultura

	<b><i>Chorume de suinicultura</i></b>							
<b><i>ETAR</i></b>	<b><i>Q total*</i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>Razão</i></b> <b><i>(S/CS)</i></b>	<b><i>SV</i></b> <b><i>(kg/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Efi.</i></b> <b><i>Remoção</i></b> <b><i>de SV (%)</i></b>	<b><i>Biogás</i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>CH<sub>4</sub></i></b> <b><i>(m<sup>3</sup>/d)</i></b>	<b><i>Energia</i></b> <b><i>produzida</i></b> <b><i>(kJ/m<sup>3</sup>)</i></b>	<b><i>Energia</i></b> <b><i>produzida</i></b> <b><i>(kWh/d)</i></b>
1	781	50/50	50	52	24 352	14 683	608 804 537	164 377
2	318	50/50	67	38	6 733	4 040	168 328 218	45 449
3	203	50/50	67	30	3 406	2 044	85 160 341	22 993
4	737	50/50	70	47	20 168	12 101	504 189 762	136 131
5	63	50/50	69	58	2 142	1 285	321 33 038	8 676
6	100	50/50	93	28	2 072	1 243	51 792 345	13 894

\*Referente a soma do caudal de lamas mistas e do caudal do co substrato adicionado

Tabela 36: Energia da co-digestão de lamas de ETAR com resíduos de frutas e legumes

<i>ETAR</i>	<i>Resíduos de frutas e legumes</i>							
	<i>Q total*</i> (m <sup>3</sup> /d)	<i>Razão</i> (S/CS)	<i>SV</i> (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Efi. Remoção de SV (%)</i>	<i>Biogás</i> (m <sup>3</sup> /d)	<i>CH<sub>4</sub></i> (m <sup>3</sup> /d)	<i>Energia produzida</i> (kJ/m <sup>3</sup> )	<i>Energia produzida</i> (kWh/d)
1	781	50/50	43	52	20 910	12 610	522 752 732	141 143
2	318	50/50	56	38	5 589	3 354	139 734 308	37 728
3	203	50/50	56	30	2 829	1 698	70 728 902	19 097
4	737	50/50	58	47	16 893	10 136	422 317 316	114 026
5	63	50/50	57.	58	1 788	1 073	26 814 000	7 240
6	100	50/50	65	28	1 424	854	35 600 823	9 612

\*Referente a soma do caudal de lamas mistas e do caudal do co substrato adicionado

Com base na eficiência de cogeração das ETAR determinou-se a energia que se poderia gerar para a co-digestão dos 3 substratos com as lamas (Tabela 37).

Tabela 37: Energia produzida com a eficiência de cogeração das ETAR seleccionadas

<i>Co-substrato</i>	<i>Energia produzida (kWh/d)</i>						
	<i>ETAR 1</i>	<i>ETAR 2</i>	<i>ETAR 3</i>	<i>ETAR 4</i>	<i>ETAR 5</i>	<i>ETAR 6</i>	<i>Média</i>
FORSU	70 866	23 769	10 922	35 655	5 797	2 238	22 764
Chorume de suinicultura	47 669	14 998	6 898	38 117	2 169	1 667	17 075`
Resíduos de fruta	40 931	12 450	5 729	31 927	1 810	1 153	14 341

É evidente que o caudal de biogás possível de ser conseguido com a realização da co-digestão das lamas de ETAR com os resíduos acima referenciados é consideravelmente superior ao obtido com a DA realizada somente às lamas, o que possibilita uma maior produção de energia, comparando as Tabela 31 e Tabela 37 facilmente constata-se este facto.

Dos 3 co substratos apresentados, o que viabiliza maior produção de energia é o FORSU, seguido pelos chorumes de suinicultura e por último os resíduos de frutas e legumes, este aspecto está relacionado com a quantidade de ST e SV apresentados por cada um deles.

É importante frisar que, a produção de energia também irá variar consoante o tipo de equipamento usado por cada ETAR na realização da co-geração e o tipo de pré-tratamento realizado ao biogás.

### 10.5 Lamas desidratadas

A valorização agrícola das lamas ocupa um lugar de importância relevante nas ETAR seleccionadas, sendo realizada a uma boa parte das lamas digeridas (Figura 34), o que para além de reduzir a quantidade de lamas que seriam depositadas em aterros sanitários, melhora a produção agrícola em instituições que as empregam nos seus solos.

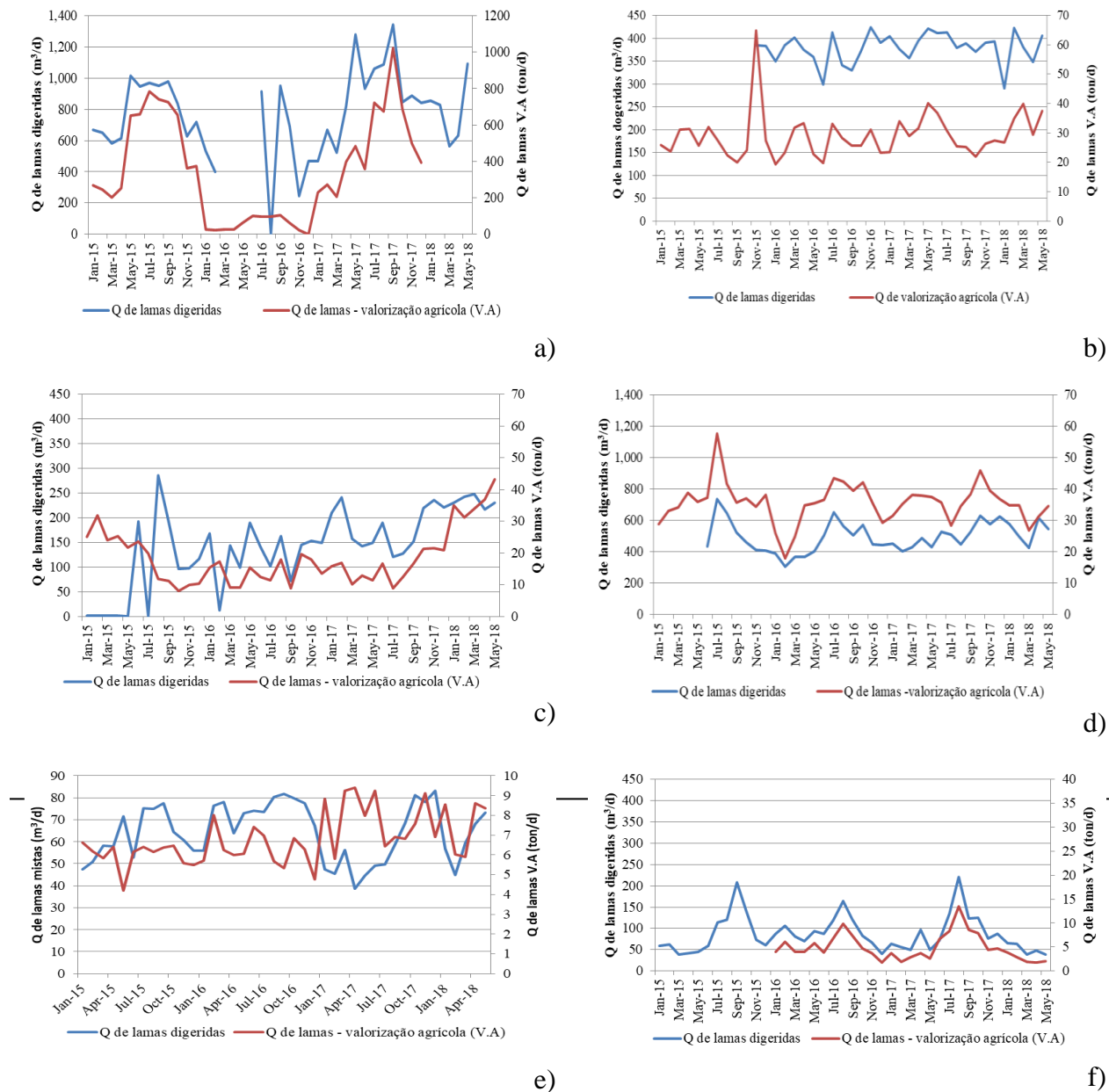


Figura 34: Variação dos caudais de lamas digeridas e de lamas para valorização agrícola nas: a) ETAR 1; b) ETAR 2; c) ETAR 3; d) ETAR 4; e) ETAR 5 e f) ETAR 6

Os caudais médios das lamas digeridas para todas as ETAR seleccionadas, são apresentados na Tabela 28. A ETAR 1 teve períodos em que não foi monitorizado o caudal de lamas digeridas, contudo a quantidade de lamas usadas na valorização agrícola continuou a ser medido. Esta ETAR é a que apresenta maior quantidade de lamas digeridas 681 m<sup>3</sup>/d, e de lamas valorizadas agricolamente 347 ton (Figura 34 a).

A ETAR 2 e 4 também tiveram períodos em que o caudal de lamas digeridas não foi monitorizado (Figura 34 b e 34 d) e quantidade média de lamas desidratadas usadas na valorização agrícola foi de 30 e 35 ton. A ETAR 3, no início do período em análise teve um caudal de lamas digeridas praticamente nulo e ao longo do tempo, apresentou também uma ausência na monitorização de tais caudais, como pode observar-se na Figura 34 c), a quantidade média de lamas desidratadas na mesma ETAR foi de 18 ton.

As ETAR 5 e 6 foram as que apresentaram menores quantidades de lamas digeridas, valores de 64,2 e 86,7 m<sup>3</sup>/d respectivamente, e de lamas destinadas a valorização agrícola, com valores entre as 2 – 16 ton (Figura 34 e e Figura 34 f).

A quantidade de lamas destinadas a valorização agrícola, irá depender de certos factores como o tipo de equipamento usado na desidratação das lamas digeridas. Admitindo que a totalidade das lamas desidratadas é enviada a valorização agrícola, estimou-se a quantidade de lamas desidratadas possíveis de serem conseguidas por m<sup>3</sup> de lamas afluente ao digester para cada ETAR (Tabela 38).

Tabela 38: Produção de lamas para valorização agrícola nas ETAR seleccionadas

<i>ETAR</i>	<i>Lamas desidratadas/ Lamas mistas (kg/m<sup>3</sup>)</i>
1	345
2	98
3	88
4	53
5	112
6	34

## 11. Conclusões

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível constatar que a digestão anaeróbia realizada a lamas de ETAR é um processo significativamente vantajoso, pois possibilita a produção de biogás, que sendo rico em  $\text{CH}_4$  pode ser usado na cogeração de energia eléctrica e térmica, garantindo assim uma redução das emissões de GEE. Contudo, a utilização do biogás para tal propósito ainda é pouco realizada em Portugal, uma vez que representa pouco mais de 5% das energias renováveis.

As ETAR seleccionadas neste trabalho foram as 6 mais representativas da Região Centro e Sul, e registaram uma a produção média mensal de energia por biogás, capaz de suprir cerca de 10 – 30 % das suas necessidades. Tais valores estão vinculados a uma gama de parâmetros operacionais, como a eficiência de remoção de SV, que para tais ETAR encontra-se entre 28 – 58 %, ao pré-tratamento realizado às lamas, ao sistema de co-geração usado nas ETAR, entre outros. Assim, a co-digestão anaeróbia das lamas com outros substratos surge como alternativa, para melhorar o processo.

Uma vez que a ETAR 1 foi a única que apresentou capacidade para a co-digestão, para as outras ETAR optou-se por desenvolver dois cenários. Nestes cenários estudaram-se como hipóteses o incremento do teor de ST das lamas, de mais 1% ST, 2 % ST e de duas vezes o teor de ST inicial. Destes cenários, o que apresentou-se melhores resultados foi o último e com base no mesmo admitiu-se a introdução de substratos específicos, seleccionados entre os disponíveis em Portugal, FORSU, chorume de suinicultura e resíduos alimentares (frutas e legumes), e tal selecção é sustentada pela produção significativa dos mesmos resíduos, uma vez que foi possível observar que os valores obtidos são apreciáveis e grande parte não sofre DA, os FORSU por exemplo só tem pouco mais de 9 % do total a ser encaminhado para tal processo. Verificou-se que com a realização da co-digestão anaeróbia destes substratos com as lamas é possível uma produção média de biogás de 1 400 – 36 200  $\text{m}^3/\text{d}$ , ou seja, até três vezes superior à quantidade obtida só com lamas. Essa produção biogás equivale à energia de 1 130 – 70 870 kWh/d.

Actualmente, a produção de energia eléctrica nas ETAR é realizada com co-geradores com eficiências de 30 %, e isto é um dos factores que limita tal produção, pois existem co-geradores

que possuem melhores eficiências. Também é geralmente, registada nas ETAR uma perda do calor gerado, uma vez que a energia térmica é usada praticamente só no aquecimento dos digestores, o que traduz-se num fraco aproveitamento do potencial total oferecido pelo biogás. A energia térmica, para além de poder ser utilizada em algumas etapas dos processos levados a cabo na fileira de tratamento, também poderia ser tratada e comercializada, para fins domésticos ou industriais. A não execução deste aspecto é, geralmente, justificada pela distância entre a produção e a utilização.

Em síntese pode afirmar-se que, a otimização energética da DA quer pela melhoria do processo, quer pela incorporação de outros substratos é possível e traria benefícios significativos, para além duma considerável sustentabilidade. Há, no entanto, necessidade de incentivar-se tal prática de modo a que a mesma seja realizada por mais instituições e em maiores proporções, visando a reduzir a dependência que se tem relativamente às energias geradas pelos combustíveis fósseis e aos impactos ambientais associados.

## **12. Perspectivas de trabalhos futuros**

Relativamente a investigações futuras, revelar-se-ia interessante realizar estudos similares a outras ETAR que não foram abrangidas no presente trabalho, bem como a avaliação dos procedimentos operacionais que poderiam melhorar a eficiência de tratamento das ETAR analisadas.

Estudos de co-digestão das lamas das ETAR com outros substratos que não foram abrangidos neste trabalho, uma vez que são numerosos os resíduos disponíveis e com características adequadas para DA.

Análise de custos associados à co-digestão dos substratos referidos no trabalho, uma vez que a energia consumida, por exemplo na alimentação pode ser superior, à considerar no presente trabalho.

Cogeração de energia por meio de outras tecnologias ou sistemas mais viáveis, com maior eficiência de conversão energética e aproveitamento da energia térmica geralmente inexistente nas ETAR.

### 13. Referências Bibliográficas

- Abbasi, T., e Tauseef, S. M. (2012) A brief History of Anaerobic Digestion and «Biogas». Em *Biogas Energy*. SpringerBriefs in Environmental Science 2. doi:10.1007/978-1-4614-1040-9\_2
- Achkar, J. H. E., Lendormi, T., Hobaika, Z., Salameh, D., Louka, N., Maroun, R. G., e Lanoisellé, J.-L. (2016) Anaerobic digestion of grape pomace: Biochemical characterization of the fractions and methane production in batch and continuous digesters. *Waste Management*, 50, 2750–282. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.028>
- Agua do Algarve. (2017) ETAR de Lagos. Obtido 25 de Agosto de 2018, de <https://www.aguasdoalgarve.pt/content/etar-de-lagos>
- Agua do Tejo Atlântico. (2017) Tejo Atlântico. Obtido de [https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/publicacoes/revista\\_adta\\_1a\\_edicao\\_2017\\_0.pdf](https://www.aguasdotejoatlantico.adp.pt/sites/aguasdotejoatlantico.adp.pt/files/publicacoes/revista_adta_1a_edicao_2017_0.pdf)
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., e Janssen, R. (2008) *Biogas Handbook*. (T. Al Seadi, Ed.). University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9 - 10, Esbjerg, Denmark.
- Alepu, O. E., Li, Z., Ikhumhen, H. O., Kalakodio, L., e Wang, K. (2016) Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Xiao Jiahe Municipal Sludge. *Int J Waste Resour*, 6(231), 2.
- Alexis, G. K., e Liakos, P. (2013) A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts. *Applied Thermal Engineering*, 54(2), 488–496. doi:10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019
- Allengue, L. B., e Hinge, J. (2012) *Biogas and bio-syngas upgrading*. Aarhus - Denmark. Obtido de [http://www.teknologisk.dk/\\_root/media/52679\\_Report-biogas and syngas upgrading.pdf](http://www.teknologisk.dk/_root/media/52679_Report-biogas%20and%20syngas%20upgrading.pdf)
- Álvarez, J. A., e Soto, M. (2011) *Anaerobic Digestion: Processes, Products, and Applications*. (D. J. Cauana & A. E. Olsen, Eds.). Nova Science Publishers, Inc., New York. Obtido de

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000tww&AN=450561&site=eds-live>

Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D. J., Plugge, C. M., e Stams, A. J. M. (2011) Chapter sixteen - Biomethanation and Its Potential. Em A. C. Rosenzweig & S. W. B. T.-M. in E. Ragsdale (Eds.), *Methods in Methane Metabolism, Part A* (Vol. 494, pp. 327–351). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385112-3.00016-0>

Anjum, M., Al-Makishah, N. H., e Barakat, M. A. (2016) Review: Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 615–632. doi:[10.1016/j.psep.2016.05.022](https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.022)

APA. (2018) *Relatório anual dos resíduos urbanos - 2017*. Lisboa-Portugal. Obtido de [https://www.apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos\\_Urbanos/RelatorioResíduosUrbanos\(RARU2017\).pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Resíduos_Urbanos/RelatorioResíduosUrbanos(RARU2017).pdf)

Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., e Dewil, R. (2008) Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 755–781. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>

Assanis, D., Borgnakke, C., Cole, D. E., e Patterson, D. J. (1996) *Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers*. (E. Avallone & T. Baumeister III, Eds.) (Tenth Edit.). McGraw Hill.

Baily, F. G. (1996) *Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers*. (E. A. Avallone & T. Baumeister III, Eds.) (Tenth Edit.). McGraw Hill.

Benabdallah, E.-H., Dosta, J., e Mata-Álvarez, J. (2007) *Start-up and HRT Influence in Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digesters Seeded with Waste Activated Sludge*. *Chemical & Biochemical Engineering Quarterly* ([cabeq@pbf.hr](mailto:cabeq@pbf.hr)); Vol.21 No.2 (Vol. 21).

Berco, V. (2013) *Análise qualitativa de lamas de ETAR e competitividade económica dos processos de tratamento e escoamento - Caso da ETAR da Guia*. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa. Obtido de <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/5671>

Bond, T., e Templeton, M. R. (2011) History and future of domestic biogas plants in the

- developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347–354.  
doi:10.1016/j.esd.2011.09.003
- Borowski, S., Domański, J., e Weatherley, L. (2014) Anaerobic co-digestion of swine and poultry manure with municipal sewage sludge. *Waste Management*, 34(2), 513–521.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.022>
- Bowen, E. J., Dolfing, J., Davenport, R. J., Read, F. L., e Curtis, T. P. (2014) Low-temperature limitation of bioreactor sludge in anaerobic treatment of domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 69(5), 1004–1013.
- Cabbai, V., De Bortoli, N., e Goi, D. (2016) Pilot plant experience on anaerobic codigestion of source selected OFMSW and sewage sludge. *Waste Management*, 49, 47–54.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.014>
- Campuzano, R., e González-Martínez, S. (2016) Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management*, 54, 3–12.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.016>
- Caroço, L. M. E. (2009) *Contribuição para o estudo dos aspectos da separação sólido-líquido em processos de lamas activadas*. Tese de Mestrado - Universidade Nova de Lisboa. Obtido de [https://run.unl.pt/bitstream/10362/2738/1/Caroco\\_2009.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/2738/1/Caroco_2009.pdf)
- Carrette, L., Friedrich, K. A., e Stimming, U. (2001) Fuel cells—fundamentals and applications. *Fuel cells*, 1(1), 5–39.
- Chen, Y., Cheng, J. J., e Creamer, K. S. (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
- Chernicharo, C. A. de L. (2007) *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions - Anaerobic Reactors*. IWA Publishing, United Kingdom. Obtido de <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402116.pdf>
- Chiumenti, A., da Borso, F., e Limina, S. (2018) Dry anaerobic digestion of cow manure and agricultural products in a full-scale plant: Efficiency and comparison with wet fermentation.

*Waste Management*, 71, 704–710. doi:10.1016/j.wasman.2017.03.046

Coimbra-Araújo, C. H., Mariane, L., Júnior, C. B., Frigo, E. P., Frigo, M. S., Araújo, I. R. C., e Alves, H. J. (2014) Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 826–839. doi:10.1016/J.RSER.2014.07.024

Coura, R. (2015) *Estudo de biodegradabilidade de efluentes agropecuários e agroindustriais em processos de co-digestão anaeróbia*. Tese de mestrado - Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Obtido de [http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/1559/1/Coura\\_Renata\\_13856.pdf](http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/1559/1/Coura_Renata_13856.pdf)

Darrow, K., Tidball, R., Wang, J., e Hampson, A. (2017) *Catalog of CHP technologies*. U.S Environmental Protection Agency.

Davis, M. E., e Davis, R. J. (2003) *Fundamentals of Chemical Reaction Engineering*. (S. Jeans & M. Lorkovic, Eds.). McGraw Hill, New York.

Davis, M. L. (2003) *Water and Wastewater Engineering - Design Principles and Practice*. McGraw Hill, New York.

De la Rubia, M. A., Perez, M., Romero, L. I., e Sales, D. (2006) Effect of solids retention time (SRT) on pilot scale anaerobic thermophilic sludge digestion. *Process Biochemistry*, 41(1), 79–86.

De Vrieze, J., De Lathouwer, L., Verstraete, W., e Boon, N. (2013) High-rate iron-rich activated sludge as stabilizing agent for the anaerobic digestion of kitchen waste. *Water Research*, 47(11), 3732–3741. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.04.020>

Decreto-Lei n 276/2009 de 2 de Outubro, Ministério do Ambiente. , Pub. L. No. Diário da República, 1ª série-Nº 192 (2009).

Decreto-Lei n152/97 de 19 de Junho, Ministério do Ambiente. , Pub. L. No. Diário da República-I série-A Nº 139 (1997).

Decreto-lei nº 178/2006 de 5 de Setembro. Obtido de <https://dre.pt/application/file/a/539951>

Decreto-Lei nº 73/2011 de 17 de Junho. Obtido de <https://dre.pt/pesquisa/-/search/670034/details/maximized>

Demirbas, A., Edris, G., e Alalayah, W. M. (2017) Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(10), 999–1006. doi:10.1080/15567036.2017.1283551

Deng, L., e Hägg, M.-B. (2010) Techno-economic evaluation of biogas upgrading process using CO<sub>2</sub> facilitated transport membrane. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(4), 638–646. doi:10.1016/j.ijggc.2009.12.013

DGEG. (2017) Renováveis - Estatísticas Rápidas N 153. Direção Geral de Energia e Geologia. Obtido de <http://www.apren.pt/contents/publicationsothers/estatisticas-rapidas--renovaveis-julho-2017-dgeg.pdf>

Do Monte, M. M. (2010) *Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais*. Tese de Mestrado Universidade Nova de Lisboa Obtido de <https://run.unl.pt/handle/10362/3941?locale=en>.

Dong, L., Zhenhong, Y., e Yongming, S. (2010) Semi-dry mesophilic anaerobic digestion of water sorted organic fraction of municipal solid waste (WS-OFMSW). *Bioresource Technology*, 101(8), 2722–2728. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.007>

Edwards, J., Othman, M., e Burn, S. (2015) A review of policy drivers and barriers for the use of anaerobic digestion in Europe, the United States and Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 815–828. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.112>

Elango, D., Pulikesi, M., Baskaralingam, P., Ramamurthi, V., e Sivanesan, S. (2007) Production of biogas from municipal solid waste with domestic sewage. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1 OP-In Journal of Hazardous Materials 2007 141(1):301-304), 301. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.07.003

EPA. (2014) Combined Heat and Power: A guide to developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs. U.S Environmental Protection Agency. Obtido de

[www.epa.gov/statelocalclimate/resources/strategy-guides.html](http://www.epa.gov/statelocalclimate/resources/strategy-guides.html).

ERSAR. (2016) *Relatório Anual dos Serviços de Aguas e Resíduos em Portugal*. Obtido de <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>

Fantini, M. (2017) Biomass Availability, Potential and Characteristics. Em R. Miriam, A. F. Ferreira, C. A. M. Silva, & M. Costa (Eds.), *Biorefineries - Targeting Energy, High Value Products and Waste Valorization* (pp. 21–54). Springer Internacional Publishing, Piacenza, Itália. doi:10.1007/978-3-319-48288-0\_2

Fernandes, L. M. S. (2014) *Modelação da digestão anaeróbia da ETAR da Guia com Redes Neurais Artificiais*. Tese de Mestrado - Instituto Superior Técnico de Lisboa. Obtido de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090413648/tese-aluno-62767.pdf>

Ferrer, P., Cambra-López, M., Cerisuelo, A., Peñaranda, D. S., e Moset, V. (2014) The use of agricultural substrates to improve methane yield in anaerobic co-digestion with pig slurry: Effect of substrate type and inclusion level. *Waste Management*, 34(1), 196–203. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.010

Fonoll, X., Astals, S., Dosta, J., e Mata-Alvarez, J. (2015) Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes: Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. *Chemical Engineering Journal*, 262, 1268–1274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.045>

Fonte, B. M. D. Da. (2017) *Avaliação de Desempenho de ETAR - Balanços de Massa*. Tese de Mestrado - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Obtido de <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/8608/1/Dissertação.pdf>

Garcia-Peña, E. I., Parameswaran, P., Kang, D. W., Canul-Chan, M., e Krajmalnik-Brown, R. (2011) Anaerobic digestion and co-digestion processes of vegetable and fruit residues: Process and microbial ecology. *Bioresource Technology*, 102(20), 9447–9455. doi:10.1016/j.biortech.2011.07.068

Garcia, V. S. de O. P. (2015) *Análise de afluência à ETAR de Chelas perante eventos de precipitação*. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Obtido de

[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043834412/tese\\_VPG.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1126295043834412/tese_VPG.pdf)

Gaur, R. Z., e Suthar, S. (2017) Anaerobic digestion of activated sludge, anaerobic granular sludge and cow dung with food waste for enhanced methane production., *164 OP-*, 557. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.201

Gerardi, M. H. (2003) *The Microbiology of Anaerobic Digesters*. (M. H. Gerardi, Ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey - U.S.A.

Ghosh, S., Henry, M. P., Sajjad, A., Mensinger, M. C., e Arora, J. L. (2000) Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD). *Water Science & Technology*, *41*(3), 101–110. Obtido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11381980/>

GIZ. (2016) *Cogeneration & Trigeneration - How to produce Energy Efficiently*. giz, Obtido de <https://www.giz.de/expertise/downloads/giz2016-en-energy-cogeneration-trigeneration-guide.pdf>.

GIZ, Ministerio das Cidades, e Ministério da Nutrição Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha. (2010) *Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização*. (F. N. e. V. Rohstoffe, Ed.) (5.<sup>a</sup> ed.). Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

Gray, N. F. (2004) *Biology of Wastewater Treatment*. (2.<sup>a</sup> ed.). Imperial College Press, Dublin, Ireland.

Grosser, A., Neczaj, E., Singh, B. R., Almås, Å. R., Brattembø, H., e Kacprzak, M. (2017) Anaerobic digestion of sewage sludge with grease trap sludge and municipal solid waste as co-substrates. *Environmental Research*, *155*, 249–260. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.007>

Grundfos. (2017) Case story - ETAR de Castelo Branco. Grundfos. Obtido de <https://pt.grundfos.com/obras/find-case/etar-de-castelo-branco.html>

Han, D., Lee, C.-Y., Chang, S. W., e Kim, D.-J. (2017) Enhanced methane production and wastewater sludge stabilization of a continuous full scale thermal pretreatment and thermophilic anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, *245*(Part A), 1162–1167.

doi:10.1016/j.biortech.2017.08.108

Hansen, C. L., e Cheong, D. Y. (2013) Chapter 23 - Agricultural Waste Management in Food Processing. Em M. B. T.-H. of F. Kutz Dairy and Food Machinery Engineering (Second Edition) (Ed.), (pp. 619–666). Academic Press, San Diego. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385881-8.00023-9>

Hartman, H., Angelidaki, I., e Ahring, B. K. (2003) Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste type. Em J. Mata-Alvarez (Ed.), *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes* (1.<sup>a</sup> ed., pp. 181–197). IWA Publishing, Barcelona, Espanha.

He, P. J. (2010) Anaerobic digestion: An intriguing long history in China. *Waste Management*, 30(4), 549–550. doi:10.1016/j.wasman.2010.01.002

Hosseini, S. E., e Wahid, M. A. (2013) Biogas utilization: Experimental investigation on biogas flameless combustion in lab-scale furnace. *Energy Conversion and Management*, 74, 426–432. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.026>

Hydro Internacional. (2018) Sludge Degritting Removes Grit Entrained in Sludge. Obtido 25 de Setembro de 2018, de <https://www.hydro-int.com/en/grit-removal-0>

Ibero Massa Florestal. (2014) Estudo de quantificação do total de resíduos agrícolas e vegetais em cada distrito principalmente centro/norte, de cada biomassa proveniente de podas. ENGASP. Obtido de <http://www.imflorestal.com/wp-content/uploads/2016/01/2.1.-Estudo-de-quantificacao-dos-residuos-agricolas.pdf>

---

INE. (2016) *Estatística dos resíduos, 2014*. (INE, Ed.) (2016.<sup>a</sup> ed.). Lisboa-Portugal. Obtido de [https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=256039630&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=256039630&att_display=n&att_download=y)

INE. (2017a) *Estatísticas Demográficas 2016*. (Instituto Nacional de Estatística, Ed.) (2017.<sup>a</sup> ed.). Lisboa-Portugal, Obtido de [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESTip o=ea&PUBLICACOEScolecao=107661&selTab=tab0&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTip o=ea&PUBLICACOEScolecao=107661&selTab=tab0&xlang=pt).

INE. (2017b) *Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas*. (INE, Ed.). Lisboa-Portugal, Obtido de :  
[https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_publicacoes&PUBLICACOESTip=ea&PUBLICACOEScolecao=107657&selTab=tab0&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTip=ea&PUBLICACOEScolecao=107657&selTab=tab0&xlang=pt).

INE. (2018) *Estatísticas Agrícolas 2017*. (Instituto Nacional de Estatística, Ed.). Lisboa-Portugal, Obtido de:  
[https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=298836962&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=298836962&att_display=n&att_download=y).

INE, e PORTADA. (2018) População residente, estimativas a 31 de Dezembro: total e por grupo etário. *Fundação Francisco Manuel dos Santos*. Obtido 27 de Agosto de 2018, de <https://www.pordata.pt/Portugal/População+residente++estimativas+a+31+de+Dezembro+total+e+por+grupo+etário-7>

Jang, H. M., Cho, H. U., Park, S. K., Ha, J. H., e Park, J. M. (2014) Influence of thermophilic aerobic digestion as a sludge pre-treatment and solids retention time of mesophilic anaerobic digestion on the methane production, sludge digestion and microbial communities in a sequential digestion process. *Water Research*, 48, 1–14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.041>

Ji, C., Kong, C.-X., Mei, Z.-L., e Li, J. (2017) A Review of the Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Waste. *APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY*, 183(3), 906–922. Obtido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000414195200016&site=eds-live>

Jonsson, S., e Westman, J. (2011) *Cryogenic biogas upgrading plate heat exchangers*. Göteborg, Sweden. Obtido de <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/145544.pdf>

Kafle, G. K., e Chen, L. (2016) Comparison on batch anaerobic digestion of five different livestock manures and prediction of biochemical methane potential (BMP) using different statistical models. *Waste Management*, 48, 492–502. doi:10.1016/j.wasman.2015.10.021

Karimi, K., e Taherzadeh, M. J. (2008) Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve

- Ethanol and Biogas Production: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol 9, Iss 9, Pp 1621-1651 (2008). doi:10.3390/ijms9091621
- Kress, P., Nägele, H.-J., Oechsner, H., e Ruile, S. (2018) Effect of agitation time on nutrient distribution in full-scale CSTR biogas digesters. *Bioresource Technology*, 247, 1–6. doi:10.1016/j.biortech.2017.09.054
- Kwietniewska, E., e Tys, J. (2014) Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 491–500. doi:10.1016/j.rser.2014.03.041
- Lang, M., e Dominick, R. (2011) *National Biosolids Manual of Good Practice. Proceedings of the Water Environment Federation* (Vol. 2011). doi:10.2175/193864700785377735
- Lara, A. I. de, Andreoli, C. V., Lopes, D. D., Morita, D. M., Peogorini, E. S., Fernandes, F., Santos, H. F., Pinto, M. A. T., Sperling, M. von, Ludovice, M., Gonçalves, R. F., Silva, S. M. C. P. da, e Soccol, V. T. (2007) *Sludge Treatment and Disposal*. (C. V. Andreoli, M. von Sperling, & F. Fernandes, Eds.). IWA Publishing, United Kingdom.
- Li, J., Chen, H.-M., e Chen, J.-B. (2007) Studies on seismic performances of the prestressed egg-shaped digester with shaking table test. *Engineering Structures*, 29(4), 552–566. doi:https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.05.023
- Li, J., Jha, A. K., He, J., Ban, Q., Chang, S., e Wang, P. (2011) Assessment of the effects of dry anaerobic co-digestion of cow dung with waste water sludge on biogas yield and biodegradability. *International journal of physical sciences*, 6(15), 3723–3732.
- 
- Li, X., Li, L., Fu, G., Lar, J. S., e Zheng, M. (2009) Anaerobic co-digestion of cattle manure with corn stover pretreated by sodium hydroxide for efficient biogas production. *Energy and Fuels*, 23(9), 4635–4639. doi:10.1021/ef900384p
- Li, Y., Yan, F., Li, T., Jiang, H., Qian, M., Xu, Q., e Zhou, Y. (2018) High-solid anaerobic digestion of corn straw for methane production and pretreatment of bio-briquette. *Bioresource Technology*, 250, 741–749. doi:10.1016/j.biortech.2017.11.083
- Lora Grando, R., de Souza Antune, A. M., da Fonseca, F. V., Sánchez, A., Barrena, R., e Font,

- X. (2017) Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 44–53. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.079>
- Lv, Z., Feng, L., Shao, L., Kou, W., Liu, P., Gao, P., Dong, X., Yu, M., Wang, J., e Zhang, D. (2018) The Effect of Digested Manure on Biogas Productivity and Microstructure Evolution of Corn Stalks in Anaerobic Cofermentation. *BioMed Research International*, 1–10. doi:10.1155/2018/5214369
- Ma, J., Amjad Bashir, M., Pan, J., Qiu, L., Liu, H., Zhai, L., e Rehim, A. (2018) Enhancing performance and stability of anaerobic digestion of chicken manure using thermally modified bentonite. *Journal of Cleaner Production*, 183, 11–19. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.121
- Mæng, H., Lund, H., e Hvelplund, F. (1999) Biogas plants in Denmark: technological and economic developments. *Applied Energy*, 64(1), 195–206. doi:[https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00067-7)
- Mahdy, A., Mendez, L., Ballesteros, M., e González-Fernández, C. (2015) Algae culture integration in conventional wastewater treatment plants: Anaerobic digestion comparison of primary and secondary sludge with microalgae biomass. *Bioresource Technology*, 184, 236–244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.145>
- Mancini, G., Papirio, S., Riccardelli, G., Lens, P. N. L., e Esposito, G. (2018) Trace elements dosing and alkaline pretreatment in the anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 247, 897–903. doi:10.1016/j.biortech.2017.10.001
- Marchaim, U. (1992) *Biogas processes for sustainable development*. (MIGAL Galilee Technological Centre Kiryat Shmona, Ed.). FAO, Israel.
- Marecos do Monte, H., Santos, M. T., Barreiros, A. M., e Albuquerque, A. (2016) *Tratamento de águas residuais - Operações e processos de tratamento físico e químico*. (1ª Edição.). Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos; Instituto Superior de Engenharia de Lisboa; Universidade da Beira, Lisboa. Obtido de <http://www.ersar.pt/pt/site-comunicacao/site-noticias/documents/ct5-trataguasresiduais.pdf>

- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Romero-Güiza, M. S., Fonoll, X., Peces, M., e Astals, S. (2014) A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 36, 412–427. doi:10.1016/j.rser.2014.04.039
- McDermott, B. L., Chalmers, A. D., e Goodwin, J. A. (2001) Ultrasonication as a pre-treatment method for the enhancement of the psychrophilic anaerobic digestion of aquaculture effluents. *Environmental Technology*, 22(7), 823–830. doi:10.1080/095933322086180317
- Mendes, S. I. S. (2014) *Valorização de lamas de tratamento de águas residuais urbanas para utilização agrícola*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Obtido de <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/3545>
- Metcalf, e Eddy. (2014) *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. (H. D. TCHOBANOUGLOS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, Ed.) (4.<sup>a</sup> ed.). McGraw Hill.
- Moeller, G., e Torres, L. G. (1997) Rheological characterization of primary and secondary sludges treated by both aerobic and anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 61(3), 207–211. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00061-8)
- Mohamed Ibrahim, M., Varuna Narasimhan, J., e Ramesh, A. (2015) Comparison of the predominantly premixed charge compression ignition and the dual fuel modes of operation with biogas and diesel as fuels. *Energy*, 89, 990–1000. doi:10.1016/j.energy.2015.06.033
- Mönch-Tegeder, M., Lemmer, A., Oechsner, H., e Jungbluth, T. (2013) Investigation of the methane potential of horse manure. *Agricultural Engineering Internacional: CIGR Journal*, 15(2), 161–172. Obtido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84879709286&origin=inward&txGid=91685a7d335edaf55e45c289fd40a9b5>
- Muller, C. D., Abu-Orf, M., e Novak, J. T. (2007) Application of mechanical shear in an internal-recycle for the enhancement of mesophilic anaerobic digestion. *Water Environment Research*, 79(3), 297–304.
- Mussoline, W., Esposito, G., Giordano, A., e Lens, P. (2013) Anaerobic Digestion of Rice Straw: A Review. *Critical reviews in environmental science and technology*. doi:10.1080/10643389.2011.627018

- Neshat, S. A., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., e Lahijani, P. (2017) Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79 OP-In, 308. doi:10.1016/j.rser.2017.05.137
- O’Flaherty, V., Lens, P., Leahy, B., e Colleran, E. (1998) Long-term competition between sulphate-reducing and methane-producing bacteria during full-scale anaerobic treatment of citric acid production wastewater. *Water Research*, 32(3), 815–825. doi:https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00270-4
- Perez-Elvira, S. I., Fdz-Polanco, M., e Fdz-Polanco, F. (2010) Increasing the performance of anaerobic digestion: Pilot scale experimental study for hydrolysis of mixed sludge. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 4(2), 135–141. doi:https://doi.org/10.1007/s11783-010-0024-5
- Pognani, M., D’Imporzano, G., Minetti, C., Scotti, S., e Adani, F. (2015) No Title. *Optimization of Solid State Anaerobic Digestion of the OFMSW by Digestate Recirculation: A New Approach Waste Manage*, 35, 111–118.
- Rajeshwari, K. V, Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K., e Kishore, V. V. N. (2000) State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 135–156. doi:https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00014-3
- Roco, J. M. M., Velasco, S., Medina, A., e Hernández, A. C. (1997) Optimum performance of a regenerative Brayton thermal cycle. *Journal of applied physics*, 82(6), 2735–2741.
- Rutz, D., Mergner, R., e Janssen, R. (2015) *Sustainable Heat Use of Biogas Plants*. (D. Rutz, Ed.) (2.<sup>a</sup> ed.). Renewable Energies, Munich, Germany. Obtido de www.biogasheat.com
- Saha, B. C. (2003) Hemicellulose bioconversion. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 30(5), 279–291. doi:https://doi.org/10.1007/s10295-003-0049-x
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., e Fahl, F. (2018) Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, 457–472. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006

- Schlesinger, W. H., e Bernhardt, E. S. (2013) Chapter 7 - Wetland Ecosystems. Em W. H. Schlesinger & E. S. B. T.-B. (Third E. Bernhardt (Eds.), (pp. 233–274). Academic Press, Boston. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385874-0.00007-8>
- Schlicht, A. C. (1999) Digester Mixing Systems. Walker Process Equipment, Aurora, Illinois. Obtido de [http://www.walker-process.com/pdf/Anaerobic\\_Digester\\_Mixing\\_Systems.pdf](http://www.walker-process.com/pdf/Anaerobic_Digester_Mixing_Systems.pdf)
- Sosnowski, P., Wiczorek, A., e Ledakowicz, S. (2003) Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Advances in Environmental Research*, 7(3), 609–616. doi:10.1016/S1093-0191(02)00049-7
- Speight, J. G. (2017) Chapter 3 - Industrial Organic Chemistry. Em J. G. B. T.-E. O. C. for E. Speight (Ed.), (pp. 87–151). Butterworth-Heinemann. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804492-6.00003-4>
- Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., e Yu, X. (2015) Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 521–532. doi:10.1016/j.rser.2015.06.029
- Tanaka, S., e Kamiyama, K. (2002) Thermochemical pretreatment in the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Water Science & Technology*, 46(10), 173–179. Obtido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12479468/>
- Tay, J.-H., Show, K.-Y., Lee, D.-J., e Zhang, Z.-P. (2010) Emerging Technologies. Em H. H. P. Fang (Ed.), *Environmental Anaerobic Technology* (pp. 113–131). Imperial College Press, Hong Kong.
- 
- Tippayawong, N., e Thanompongchart, P. (2010) Biogas quality upgrade by simultaneous removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a packed column reactor. *Energy*, 35(12), 4531–4535. doi:10.1016/j.energy.2010.04.014
- U.S. Environmental Protection Agency. (2011) *Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities: Market Analysis and Lessons from the Fields*.
- Van Lier, J. B., Van der Zee, F. P., Frijters, C., e Ersahin, M. E. (2015) Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. *Reviews in*

*Environmental Science and Bio/Technology*, 14(4), 681–702.

Vintiloiu, A., Lemmer, A., Oschsner, H., e Jungbluth, T. (2012) Mineral substances and macronutrients in the anaerobic conversion of biomass: An impact evaluation. *Eng. Life Sci*, 12(3), 287–294. doi:10.1002/elsc.201100159

Viteri, F., e Anderson, R. E. (2003, Outubro 28) Semi-closed brayton cycle gas turbine power systems. Google Patents.

Vögeli, Y., Lohri, C. R., Gallardo, A., Diener, S., e Zurbrügg, C. (2014) *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*. (S. Mercer, Ed.). Eawag - Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Department of Water and Sanitation in Developing Countries (Sandec), Dübendorf, Switzerland.

Wang, Y., Ren, G., Zhang, T., Zou, S., Mao, C., e Wang, X. (2017) Effect of magnetite powder on anaerobic co-digestion of pig manure and wheat straw. *WASTE MANAGEMENT*, 66, 46–52. Obtido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000404503900006&site=eds-live>

Yu, H. Q., e Fang, H. H. P. (2002) Acidogenesis of dairy wastewater at various pH levels. *Water Science & Technology*, 45(10), 201–206.

Zahan, Z., Othman, M. Z., e Rajendram, W. (2016) Anaerobic Codigestion of Municipal Wastewater Treatment Plant Sludge with Food Waste: A Case Study. *BioMed Research International*, 2016, 1–13. doi:10.1155/2016/8462928

Zareei, S. (2018) Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. *Renewable Energy*, 118 OP-, 351. doi:10.1016/j.renene.2017.11.026

Zeeco. (2018) Zeeco Products & Applications. Obtido 19 de Outubro de 2018, de <https://www.zeeco.com/flares/flares-biogas.php>

Zeng, M., Mosier, N. S., Huang, C. P., Sherman, D. M., e Ladisch, M. R. (2007) Microscopic examination of changes of plant cell structure in corn stover due to hot water pretreatment and enzymatic hydrolysis. *Water Science & Technology*, 97(2), 265–278.

doi:10.1002/bit.21298

Zhang, T., Liu, L., Song, Z., Ren, G., Feng, Y., Han, X., e Yang, G. (2013) Biogas Production by Co-Digestion of Goat Manure with Three Crop Residues. *PLoS ONE*, 8(6), 1–7. doi:10.1371/journal.pone.0066845

Zhong, W., Zhang, Z., Luo, Y., Sun, S., Qiao, W., e Xiao, M. (2011) Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production. *Bioresource Technology*, 102(24), 11177–11182. doi:10.1016/j.biortech.2011.09.077

Zi-lin, S., Gai-he, Y., Yong-zhong, F., Guang-xin, R., e Xin-hui, H. (2013) Pretreatment of Rice Straw by Hydrogen Peroxide for Enhanced Methane Yield. *JOURNAL OF INTEGRATIVE AGRICULTURE*, 12(7), 1258–1266. Obtido de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edswsc&AN=000321077000016&site=eds-live>

Zingoni, A. (2001) Stresses and deformations in egg-shaped sludge digestors membrane effects. *Engineering Structures*. Obtido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.706.7969&rep=rep1&type=pdf>

## **Anexos**

## **Anexo I – Resumos, Posters e Apresentação oral do Fórum Química da CHEMPOR e do Luso-Galego 2018**

### **Resumo do Fórum de Química 2018**

#### **Otimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR**

**F. Alves<sup>1\*</sup>, A. P. Teixeira<sup>2</sup>, M. T. Santos<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal,

<sup>2</sup>EPAL – Águas de Portugal, Av. Berlin 15, 1800-031 Lisboa, Portugal.

<sup>3</sup>Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal,

\*A43244@isel.ipl.pt

A otimização da digestão anaeróbia é desejável, no entanto a quantidade de lamas não apresenta na atualidade um grande potencial de crescimento em volume (ou massa), uma vez que a infraestruturação do país está consolidada. Há, no entanto, uma oportunidade de identificar potenciais de otimização e valorização das etapas de digestão anaeróbia nas ETAR seja por alterações processuais seja ainda por incorporação de outros substratos. A digestão anaeróbia é definida como sendo a processo pelo qual certas bactérias conseguem transformar matéria orgânica em biogás, considerado como energia renovável [1]. A digestão anaeróbia pode ser realizada com diferentes substratos como as lamas de ETAR (Figura 1), resíduos urbanos, resíduos agrícolas, entre outros. Na Figura 1 apresentam-se exemplos de reatores anaeróbios existentes nas ETAR em Portugal.



Figura 1: Exemplo de reatores anaeróbios de lamas de ETAR [2]

O presente trabalho tem como objetivo analisar a capacidade instalada e ao grau de eficiência do processo da digestão anaeróbia levado a cabo pelas ETAR em Portugal, e a possibilidade da realização de uma co-digestão anaeróbia com outros substratos que não estejam a ser incorporados, bem como ter noção do potencial para a produção do biogás. A quantidade e qualidade do biogás obtido é determinante para a produção de energia térmica e elétrica [3]. Este trabalho ainda se encontra em desenvolvimento.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] - Álvarez, J. A., e Soto, M. (2011) *Anaerobic Digestion : Processes, Products, and Applications*. (D. J. Cauana & A. E. Olsen, Eds.). Nova Science Publishers, Inc., New York,
- [2] - ATA (2017). [www.aguasdojoeatlantico.adp.pt/content/infraestruturas](http://www.aguasdojoeatlantico.adp.pt/content/infraestruturas).
- [3] - Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Kötzner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., e Janssen, R. (2008) *Biogas Handbook*. (T. Al Seadi, Ed.). University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9 - 10, Esbjerg, Denmark.

> área científica - ambiente

---

## Póster do Fórum Química 2018



### Otimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

F. Alves<sup>1\*</sup>, M. T. Santos<sup>3</sup>, A. P. Teixeira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área Departamental de Engenharia Civil, ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal,

<sup>2</sup>EPAL – Águas de Portugal, Av. Berlin 15, 1800-031 Lisboa, Portugal,

<sup>3</sup>Área Departamental de Engenharia Química, ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal.

\*A43244@isel.ipl.pt



**Resumo**  
A optimização da digestão anaeróbia das lamas das ETAR é desejável, no entanto a quantidade de lamas não apresenta na atualidade um grande potencial de crescimento em volume (ou massa), uma vez que a infraestruturação do país está consolidada. Há no entanto uma oportunidade de identificar potenciais de optimização e valorização das etapas de digestão anaeróbia nas ETAR, seja por alterações processuais seja ainda por incorporação de outros substratos nas situações em que haja capacidade de digestão disponível. Assim o presente trabalho irá focar-se na optimização energética da digestão anaeróbia nas ETAR.

**Introdução**  
A remoção das substâncias presentes nas águas residuais nas ETAR dá origem a água residual tratada, a subprodutos sólidos - lamas, areias, gradados/tamisados, e gasosos como por exemplo o biogás [1]. As lamas sendo ricas em matéria orgânica podem ser valorizadas como fertilizantes agrícolas ou como corretor de solos. O tratamento das lamas, pode ser realizado através de processos químicos e biológicos, como por exemplo a digestão anaeróbia (DA).

A DA é o processo de degradação da matéria orgânica em compostos inorgânicos, realizada por bactérias que conseguem processar o seu metabolismo na ausência do oxigénio [2], sendo realizada em 4 fases (Figura 1). Os produtos finais da DA são o metano (CH<sub>4</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), entre outros, ou seja o biogás (Figura 2).

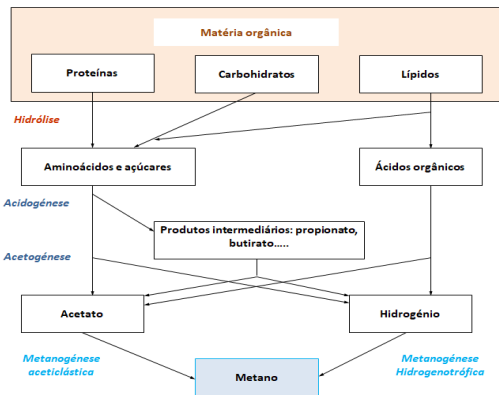


Figura 1. Processos da digestão anaeróbia

### Co-digestão anaeróbia

A DA é realizada as lamas produzidas nas ETAR, porém também pode ser feita a resíduos municipais, agro-pecuários, entre outros tipos de resíduos industriais. Quando se realiza a digestão de mais de um substrato no mesmo digestor, atribui-se o nome de co-digestão anaeróbia. Os substratos a serem incorporados na DA, dependem do tipo de digestor (Figura 2) e da região onde o mesmo se encontrar.

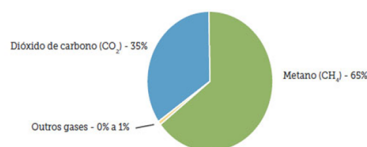


Figura 2: Composição típica do biogás

### Metodologia

O presente trabalho teve por base uma revisão bibliográfica exaustiva assentada em livros, decretos-lei, artigos e outras fontes relacionadas com o tema. Realizou-se também inquéritos destinados a um conjunto de ETAR do país objectivando obter respostas relativas a características como, a capacidade dos digestores, a temperatura a que é realizado o processo, o volume dos substratos recebidos, a quantidade de biogás conseguido no final da DA, de modo a verificar a possibilidade da sua optimização. É realizado também um levantamento dos efluentes agrícolas e outros que sejam biodegradáveis, porém não estejam a ser encaminhados a uma ETAR.



Figura 3. Exemplo de reatores anaeróbios de lamas de ETAR [4]

### Resultados

De acordo com a ERSAR [6] existem no país cerca de 2673 ETAR e fossas sépticas, todavia nem todas realizam digestão anaeróbia e mesmo as que possuem digestão anaeróbia, existe a possibilidade do grau de eficiência não ser o desejado. Pelo levantamento já realizado existem no país diversos substratos com características adequadas, como por exemplo os resíduos produzidos pela indústria agrícola, que representam cerca de 3 % dos resíduos sectoriais totais (11,3 milhões de toneladas) [5]. Assim fica evidente que Portugal apresenta um potencial de produção de biogás considerável.

### Conclusão

A optimização energética da DA pode ser alcançada através do melhoramento processuais ou ainda pela realização de co-digestão de substratos compatíveis. Por exemplo, a co-digestão de resíduos provenientes da produção de algodão e chorume de suinicultura tem uma produção de biogás 1,8 vezes superior em relação a digestão dedicada dos resíduos da produção do algodão. O presente trabalho ainda se encontra em desenvolvimento.

### Referências

- [1] Decreto-Lei 152/97 de 19 de Junho, Ministério do Ambiente, Pub. L. No. Diário da República-I série-A Nº 139 (1997).
- [2] Álvarez, J. A., e Soto, M. (2011) *Anaerobic Digestion: Processes, Products, and Applications*. (D. J. Cauana & A. E. Olsen, Eds.) Nova Science Publishers, Inc., New York.
- [3] Al Seadi, T., Rutz, D., Prassi, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., e Janssen, R. (2008) *Biogas Handbook*. (T. Al Seadi, Ed.) University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohr's Vej 9 - 10, Esbjerg, Denmark.
- [4] ATA (2017). [www.agnasdojeitoatlantico.adp.pt/content/infraestruturas](http://www.agnasdojeitoatlantico.adp.pt/content/infraestruturas).
- [5] INE (2016) *Estatística dos resíduos, 2014*. (Instituto Nacional de Estatística, Ed.) Lisboa-Portugal, ISBN: 978-989-25-0348-6.
- [6] ERSAR. (2016) *Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal - Volume1 - Caracterização do sector de águas e resíduos*, (Entidade Regularado dos Serviços das Águas e Resíduos Ed), dezembro de 2016, ISBN: 979-989-8360-33-5.

## Resumo da CHEMPOR 2018

## Energy optimization of sludge anaerobic digestion

M. T. Santos<sup>1,\*</sup>, F. Alves<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal; <sup>2</sup> Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal; \*tsantos@deq.isel.ipl.pt.



In Portugal the optimization of anaerobic digestion is desirable, however, the sludge amount does not present a great growth potential in volume (or mass), since the country's infrastructure is consolidated. However, there is an opportunity to identify potentials for optimization and valorization of anaerobic digestion stages in the WWTP either by process changes or by incorporation of other substrates. The present work main issue is to analyze the installed capacity and efficiency of the anaerobic digestion process carried out by the WWTP and the possibility of performing an anaerobic co-digestion with other substrates. Also, to determine the potential for energy manufacture by biogas production. Therefore, a survey of existing WWTP was done but due to the high number of WWTP, it was necessary to select some regions, namely center and south of Portugal. As a result it was found that, the energy produced from biogas represents in average from 10 % to 20 % of WWTP of energy needs.

### Introduction

Nowadays, wastewater treatment plants (WWTP) produce a significant amount of sludge due to the need to treat wastewater as a consequence of population and water consumption growth.

Usually, WWTP sludge stabilization is made by anaerobic digestion with biogas valorization by heat and electricity production [1].

In Portugal there was around 2,743 WWTP in 2016 [2], but only the medium and large capacity have sludge stabilization, usually by anaerobic digestion. In the last years, however, the sludge quantity did not present a great growth potential in volume (or mass), since the country's infrastructure was already consolidated.

Several studies concerning anaerobic digestion of sludge with other organic substrates were conducted with a significant biogas production. The organic fraction of municipal solid waste (MSW) is one of the most used substrate [3]. In Portugal, the MSW amount was 4,660 000 ton with an organic fraction of around 51 % in 2016 [4]. With anaerobic co-digestion it's possible to contribute to the management of waste from different origins and at the same time produce renewable energy like biogas.

### Objectives

In the present study it is intended to carry out a survey on the installed capacity and efficiency of the anaerobic digestion process carried out by WWTPs in Portugal. Also, the possibility of performing an anaerobic co-digestion with other substrates that are not being incorporated will be evaluated, as well as being aware of the potential for biogas production.

### Methodology

In the present study, an extensive literature review was carried out on national and European official websites, articles, thesis and reports of the wastewater management entities in Portugal in order to collect data concerning WWTP, sludge amount, anaerobic reactors, biogas, methane and energy production. Also, surveys with specific data were sent to the wastewater

management entities of the WWTP previously selected. Due to the high number of WWTP it was necessary to select some regions of Portugal (e.g. center and south).

### Results and Conclusion

To carry out the present work it was necessary to gather data concerning the WWTP treatment scheme and with more detail the sludge amount and characteristics and anaerobic digestion process. In Table 1 the data from two WWTP from different region of Portugal are presented. Both WWTP have the same treatment level but with different wastewater flow, WWTP B received almost half flow.

Table 1. WWTP data.

WWTP	Region	Population (p.e.)	WW Flow (m <sup>3</sup> /d)	Treatment level
A	South	138,000	41,800	Tertiary
B	Centre	96,000	21,082	Tertiary

The anaerobic process from that WWTP are described in Table 2. The WWTP B is the smallest but has 2 anaerobic reactor that operate in batch mode.

Table 2. Anaerobic digestion process.

WWTP	Reactor number	Volume (m <sup>3</sup> )	Temperature	
A	1	n.a.	Mesophilic	n.a.
B	2	1,200	Mesophilic	batch

n.a – not available.

In both WWTP the biogas is measured and characterized in continuous way. In Table 3 the biogas characterization is presented in terms of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S. The methane percentage is more than 63%, which permits the energy production. The WWTP B has an average value of CH<sub>4</sub> (67 %) higher than WWTP A. In WWTP A it can be observed a higher H<sub>2</sub>S variation from 2 to 4,039 ppm.

Poster da CHEMPOR 2018



**ISEL**  
INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DE LISBOA

**Energy optimization of sludge anaerobic digestion**

M. T. Santos<sup>1</sup>, F. Alves<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal;

<sup>2</sup> Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal;

\*tsantos@deq.isel.ipl.pt.



SLUDGE  
+  
OFMSW  
+  
OTHER  
SUBSTRATE



**BIOGAS  
RENEWABLE ENERGY**

**Results**

In present work it was necessary to gather data concerning the WWTP scheme and with more detail the sludge amount and characteristics and anaerobic digestion process. In Tables 1 and 2 the data from two WWTP from different region of Portugal are presented. Both WWTP have the same treatment level but with different wastewater flow, WWTP B received almost half flow.

Table 1. WWTP data.

WWTP	Region	Population (p.e.)	WW Flow (m <sup>3</sup> /d)	Treatment level
A	South	138,000	41,800	Tertiary
B	Centre	96,000	21,082	Tertiary

Table 2. Anaerobic digestion process.

WWTP	Reactor number	Volume (m <sup>3</sup> )	Temperature	Reactor
A	1	n.a.	Mesophilic	n.a.
B	2	1,200	Mesophilic	batch

Table 3. Biogas composition.

Biogas component	WWTP A			WWTP B		
	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.
CO <sub>2</sub> (%)	34	41	63	23	25	29
CH <sub>4</sub> (%)	60	63	69	63	67	70
H <sub>2</sub> S (ppm)	2	380	4,039	2	8	16

**Abstract**

In Portugal the optimization of anaerobic digestion is desirable, however, the sludge amount does not present a great growth potential in volume (or mass), since the country's infrastructure is consolidated. However, there is an opportunity to identify potentials for optimization and valorization of anaerobic digestion stages in the WWTP either by process changes or by incorporation of other substrates. The present work main issue is to analyze the installed capacity and efficiency of the anaerobic digestion process carried out by the WWTP and the possibility of performing an anaerobic co-digestion with other substrates. Also, to determine the potential for energy manufacture by biogas production. Therefore, a survey of existing WWTP was done but due to the high number of WWTP, it was necessary to select some regions, namely center and south of Portugal. As a result it was found that, the energy produced from biogas represents in average from 10 % to 20 % of WWTP of energy needs.

The biogas composition is presented in Table 3. From the surveys sent to the management entities the energy production has evaluated from 2015 to 2018, as presented Figure 1.

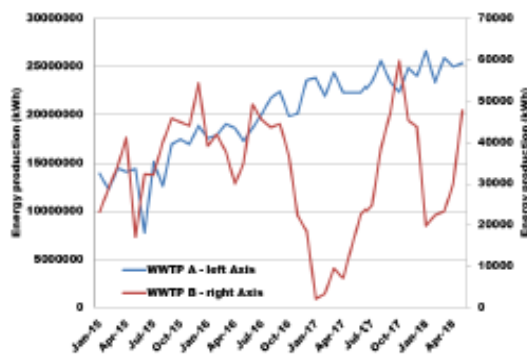


Figure 1. Energy production from WWTP A and B.

**Conclusion**

It is perceptible that there is a large window of opportunity regarding energy production trough biogas in Portugal, although significant effort was being done in sludge anaerobic digestion, there is space to improvement. The collected data from the surveys was considerably helpful but some WWTP have incomplete data concerning all sludge anaerobic process, namely the operational reactor conditions. The present work is still under development.

**References**

- [1] G. Tchobanoglous, H. David Sereak, R. Tchuchashvili, F. L. Burton, Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Edition, Metcalf & Eddy Inc, McGraw-Hill, New York, Vol 1, (2014).
- [2] RASARP 2017, Volume 1, ERGAR, 1-103.
- [3] K. Alkawasbeh, A. Pugliese, K. Stojilica, V. Platowal, S. Masael, P. Barbood, G. Sidri, F. Farkazi, Fermentation, 3 (2017), 1 -12.
- [4] APA, Relatório de Avaliação 2016, PERSU 2020, Agência Portuguesa Ambiente, (2017), 1 - 91.

**Acknowledgements**

The authors thank all wastewater management entities from Portugal for the data provided.

**Resumo do Luso-Galego 2018**

XXIV Encontro Luso-Galego de Química

QUÍMICA E AMBIENTE

ORAL

**Digestão anaeróbia de lamas de ETAR - Biogás e energia****F. Alves<sup>1</sup>, M. T. Santos<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal<sup>2</sup>Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, Portugal

\* A43244@isel.ipl.pt

A concepção de sistemas de saneamento advém da crescente industrialização e urbanização observada durante o último século. Estes fenómenos traduzem-se num leque de actividades que produzem águas residuais com propriedades extremamente nocivas ao ambiente. Assim, é desejável que se concebam ETAR capazes de realizar uma gestão adequada das mesmas, minimizando os impactos ambientais e os bioresíduos produzidos. As biolamas podem ser reaproveitadas como um recurso renovável e valorizadas energeticamente através da produção de biogás.

Em Portugal existiam cerca de 2.743 ETAR em 2016 [1], mas apenas as de média e grande capacidade têm estabilização de lamas, geralmente por digestão anaeróbica. Nos últimos anos, a quantidade de lamas não apresentou grande potencial de crescimento em volume (ou massa), uma vez que as infraestruturas do país já estão praticamente consolidadas. No entanto, existe a oportunidade de identificar potenciais para otimização e valorização do processo de digestão anaeróbica nas ETAR, quer seja por mudanças de processo ou pela incorporação de outros substratos. O presente trabalho tem como principal objectivo analisar a capacidade instalada e a eficiência do processo de digestão anaeróbica realizado nas ETAR e a possibilidade de realizar uma co-digestão anaeróbica com outros substratos, uma vez que este processo pode resultar numa melhor eficácia do sistema e optimização de produção de biogás e conseqüentemente a valorização energética [2].

Foi feito um levantamento das ETAR existentes, mas devido ao elevado número de ETAR, foi necessário seleccionar algumas regiões, nomeadamente centro e sul de Portugal (Tabela 1). Como resultado, verificou-se que o volume de biogás conseguido é consideravelmente elevado, porém a energia produzida a partir do mesmo não consegue suprir nem um quarto das necessidades energéticas das ETAR estudadas.

Tabela 1. Características do processo de digestão anaeróbica em 2 ETAR

ETAR	Caudal de lamas (m <sup>3</sup> /mês)	Nº de reatores	Biogás produzido (m <sup>3</sup> /mês)	Metano (%)
Sul	2.691(±1592)	1	20.158.361 (±4.339.653)	63 (±2,2)
Centro	2.513(±514)	2	19.681 (±5.098)	67 (±1,3)

**Agradecimentos**

Os autores agradecem a todas as entidades gestoras de saneamento pelos dados fornecidos.

**Referências**

- [1] X. RASARP 2017, Volume 1, ERSAR, 1-183.  
 [2] K. Alrawashdeh, A. Pugliese, K. Slopiecka, V. Pistolesi, S. Massoli, P. Bartocci, G. Bidini, F. Fantozzi, Fermentation, 3 (2017) 12.

## Apresentação oral do Luso-Galego 2018

ISEL  
XXIV Encontro Luso-Galego de QUÍMICA

# DIGESTÃO ANAERÓBIA DE LAMAS DE ETAR - BIOGÁS E ENERGIA

F. Alves<sup>1</sup>, M. T. Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área Departamental de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa;  
<sup>2</sup>Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa.

nov-18 Alves, 2018 2

ISEL  
XXIV Encontro Luso-Galego de QUÍMICA

## Introdução

- Actualmente a quantidade águas residuais (AR) produzidas pelas ETAR é significativa, devido à crescente industrialização e urbanização.

Ano	População (hab)	População servida por drenagem (hab)	Capitação AR (l/(hab.d))	Caudal anual (m <sup>3</sup> /ano)	Lamas produzidas (t/ano)
2011	10 558 909	8 552 716	155	483 869 924	97 170
2012	10 515 016	8 517 163	235	730 559 653	102 892
2013	10 459 715	8 472 369	252	779 288 514	105 639
2014	10 402 343	8 477 910	166	513 676 539	101 110
2015	10 341 330	8 428 184	168	516 816 240	114 161
2016	10 304 434	8 398 114	177	542 560 136	115 274
2017*	10 291 027	8 387 187	187	571 837 189	116 581
2018*	10 229 431	8 336 986	184	559 005 049	122 648

\*Calculados

nov-18 3

ISEL  
XXIV Encontro Luso-Galego de QUÍMICA

## Tópicos

- Introdução
- Objectivos
- Metodologia
- Resultados
- Conclusões

nov-18 Alves, 2018 2

ISEL  
XXIV Encontro Luso-Galego de QUÍMICA

## Introdução

- O tratamento de lamas das ETAR pode ser feito através da **digestão anaeróbia** (DA).
- Portugal tem cerca de 2743 ETAR, porém nem todas têm DA



nov-18 4

**ISEL** **Introdução** **QUÍMICA**

- DA - degradação da matéria orgânica em Biogás, realizada por bactérias anaeróbias.
- Co-digestão anaeróbia - degradação de dois ou mais substratos.

nov-18 5

**ISEL** **Objectivos** **QUÍMICA**

- Levantamento relativo a capacidade instalada e ao grau de eficiência do processo de digestão anaeróbia nas ETAR em Portugal,
- Análise da possibilidade da realização de co-digestão anaeróbia com outros substratos que não estejam a ser incorporados.

nov-18 7

**ISEL** **Introdução** **QUÍMICA**

- Composição das Lamas de ETAR

Parâmetro	Unidade	Valores
Matéria seca (105 °C)	%	12 – 38
Matéria orgânica	% (MS)	38,2 – 84,5
pH	-	6,1 – 8,3
Azoto amoniacal	mg/kg (MS)	2,2x10 <sup>3</sup> – 3,5x10 <sup>6</sup>
Azoto total	mg/kg (MS)	34x10 <sup>3</sup> – 58x10 <sup>3</sup>
Fósforo	mg/kg (MS)	1 600 – 34 000
Potássio	mg/kg (MS)	595 – 34 000
Magnésio	mg/kg (MS)	570 – 9 300
Cálcio	mg/kg (MS)	1 400 – 94 000
Mercurio	mg/kg (MS)	0,06 - 7
Chumbo	mg/kg (MS)	10 - 120
Cádmio	mg/kg (MS)	0,1 - 7
Zinco	mg/kg (MS)	0,2 – 2 200

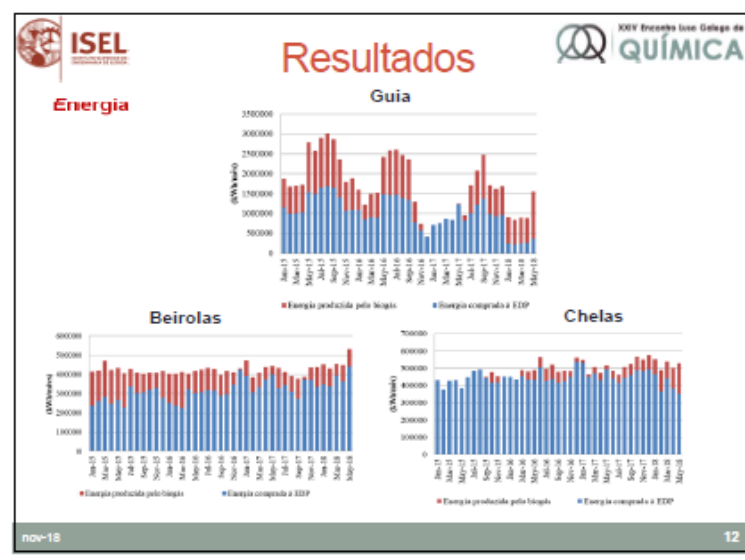
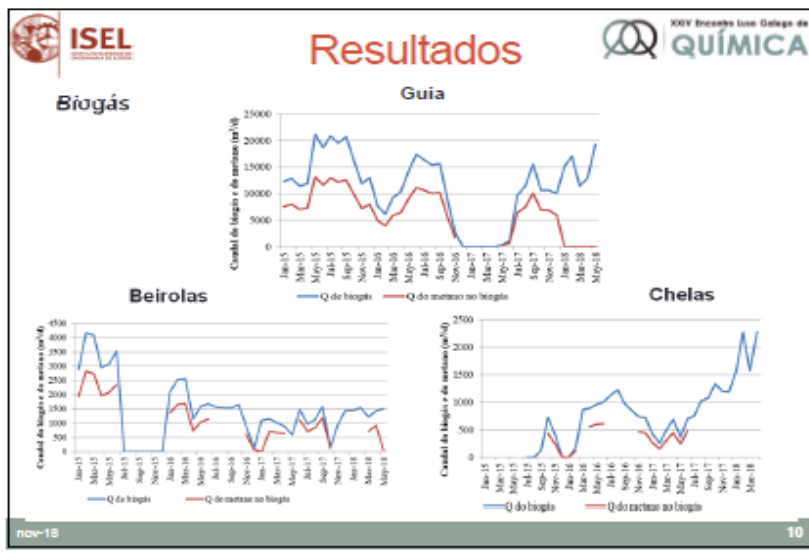
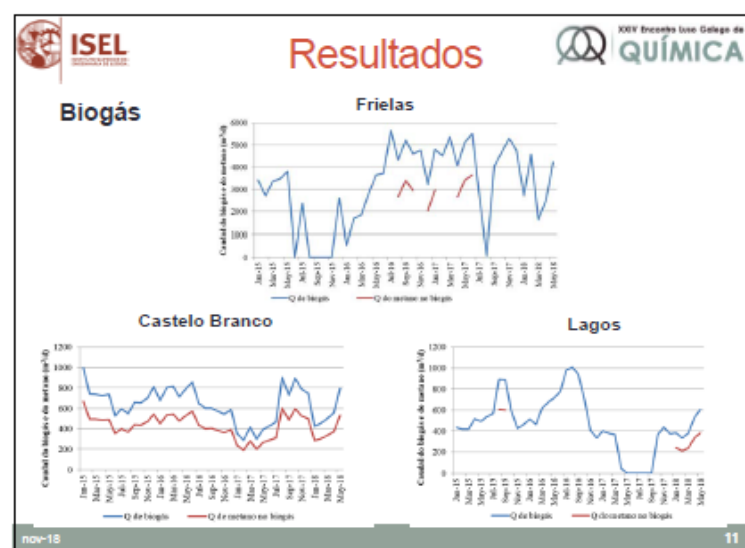
(Adaptado de Berco, 2013; Mendes, 2014)

nov-18 6

**ISEL** **Metodologia** **QUÍMICA**

- **Pesquisa extensiva** a artigos, relatórios e sites nacionais oficiais das EG das AR;
- **Inquéritos enviados às EG** das ETAR seleccionadas, para obtenção de dados específicos relativos à DA;
- A selecção das ETAR baseou-se na **produção significativa de lamas tratadas**. As ETAR seleccionadas: Guia, Beirolas, Chelas, Frielas, Castelo Branco e Lagos.

nov-18 8





**Conclusões**

- O biogás produzido apresenta cerca de **60% de CH<sub>4</sub>**;
- A quantidade de **energia eléctrica** produzida consegue suprir cerca de **20 a 30 % das necessidades energéticas** nas ETAR e a energia térmica praticamente não é usada;
- A **co-digestão de lamas de ETAR** com os efluentes de queijarias e lamas de fossas sépticas, não mostrou grande diferença na quantidade de biogás e consequentemente de energia produzida;

nov-18 15

**Resultados**

• Valorização agrícola – as ETAR seleccionadas enviam a totalidade das lamas desidratadas para aplicação no solo.

ETAR	Lamas desidratadas/ Lamas digeridas (kg/m <sup>3</sup> )	Lamas desidratadas/ Lamas mistas (kg/ m <sup>3</sup> )
Guia	341,92	345,34
Beirolas	79,02	98,36
Chelas	129,77	88,16
Frielas	24,32	52,83
Castelo Branco	111,54	111,54
Lagos	38,94	34,03

nov-18 14

**Perspectivas Futuras**

- Existem outros **substratos com potencial metanogénico** que poderiam ser incorporados.
- Análise da **produção de energia** com resíduos urbanos, resíduos de agropecuárias e da indústria alimentar.

nov-18 16

## Anexo II - Quantidade e composição média de estrumes e de chorumes

Espécie pecuária/tipo de animal	Efetuante pecuário (1)	m <sup>3</sup> ou t/animal ou lugar/ano (2)	kg/t de estrume ou kg/m <sup>3</sup> de chorume								CN (5)	m <sup>3</sup> ou t/CN/ano	kg/CN e ano							
			MS	MO	N <sub>t</sub> (3)	N <sub>dep</sub> (4)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MO			N <sub>t</sub> (3)	N <sub>dep</sub> (4)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			
Bovinos .....	Vaca leiteira (6) .....	Estrume .....	21,0	210	175	5,3	1,3	-	2,5	2,2	10,8	1,20	17,5	3063	93	22,8	-	43,8	39	189
		Chorume .....	23,0	90	70	4,3	2,2	-	3,0	1,8	8,0		19,2	1342	82	42,2	-	57,5	35	153
	Vaca aleitante .....	Estrume .....	14,0	210	175	5,3	1,3	-	2,5	2,2	10,8	1,00	14,0	2450	74	18,2	-	35,0	31	151
		Chorume .....	15,5	90	70	4,3	2,2	-	3,0	1,8	8,0		15,5	1085	67	34,1	-	46,5	28	124
	Bovino de recria (6 a 24 meses) (7) .....	Estrume .....	7,0	210	175	5,3	1,3	-	2,5	2,2	10,8	0,60	11,5	2013	61	15,0	-	28,8	25	124
		Chorume .....	8,0	90	70	4,3	2,2	-	3,0	1,8	8,0		13,5	945	58	29,7	-	40,5	24	108
	Bovino de engorda intensiva .....	Estrume .....	6,8	210	155	5,4	1,3	-	2,5	2,3	8,9	0,60	11,3	1757	61	14,7	-	28,3	26	101
		Chorume .....	7,5	90	65	4,3	2,2	-	3,0	1,7	5,2		12,5	813	54	27,5	-	37,5	21	65
	Vitelo de recria (< 6 meses) .....	Estrume .....	2,2	210	150	5,3	1,3	-	2,5	2,3	5,5	0,40	5,5	825	29	7,2	-	13,8	13	30
	Vitelo aleitamento (< 3 meses) (7) .....	Estrume .....	1,4	90	150	5,3	1,3	-	2,5	2,3	5,5	0,20 (8)	3,5	525	19	4,6	-	8,8	8	19
Suínos .....	Lugar de porcas reprodutoras (substituição/gestação/lactação) (9) .....	Estrume .....	3,4	270	40	7,8	3,1	-	4,7	7,0	8,3	0,35	9,7	389	76	30,1	-	45,7	68	81
		Chorume .....	6,0	50	33	4,7	2,4	-	3,3	3,2	3,2		17,1	566	81	41,1	-	56,6	55	55
	Lugar de porcos de engorda/acabamento (10) .....	Estrume .....	1,2	270	40	7,8	3,1	-	4,7	7,0	8,3	0,15	8,0	320	62	24,8	-	37,6	56	66
		Chorume .....	1,6	50	36	6,0	3,0	-	4,2	3,8	4,4		10,7	384	64	32,0	-	44,8	41	47
	Lugar de bácoros/leitões desmamados (11) .....	Estrume .....	0,5	270	40	7,8	3,1	-	4,7	7,0	8,3	0,05	10,0	400	78	31,0	-	47,0	70	83
		Chorume .....	0,8	50	36	6,0	3,0	-	4,2	3,8	4,4		16,0	576	96	48,0	-	67,2	61	70

Diário da República, 1.ª série—N.º 166—28 de agosto de 2012

Espécie pecuária/tipo de animal	Efluente pecuário (1)	m <sup>3</sup> ou t/ animal ou lugar/ano (2)	kg/t de estrume ou kg/m <sup>3</sup> de chorume									CN (5)	m <sup>3</sup> ou t/CN/ano	kg/CN e ano						
			MS	MO	N <sub>i</sub> (3)	N <sub>org</sub> (4)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		MO			N <sub>i</sub> (3)	N <sub>org</sub> (4)		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
Exploração de produção de leitões (12) ...	Estrume .....	5,1	270	40	7,8	3,1	-	4,7	7,0	8,3	0,52 (8)	9,8	390	76	30,2	-	45,8	68	81	
	Chorume .....	8,7	50	33	4,7	2,4	-	3,3	3,2	3,2		16,7	552	79	40,2	-	55,2	54	54	
	Exploração em ciclo fechado (13) .....	Estrume .....	12,9	270	40	7,8	3,1	-	4,7	7,0	8,3	1,49 (8)	8,6	346	67	26,8	-	40,6	60	72
		Chorume .....	19,1	50	36	6,0	3,0	-	4,2	3,8	4,4		12,8	461	77	38,5	-	53,8	49	56
Ovinos/caprinos ...	Exploração ovinos/caprinos carne (14) ...	Estrume .....	1,7	270	200	8,0	3,2	-	4,8	3,3	16,0	0,17 (8)	10,0	2000	80	32,0	-	48,0	33	160
	Exploração ovinos/caprinos leite (14) ...	Estrume .....	2,3	270	200	8,0	3,2	-	4,8	3,3	16,0	0,23 (8)	10,0	2000	80	32,0	-	48,0	33	160
Equinos .....	Cavalo adulto (> 24 meses) (15) .....	Estrume fresco ...	12,0	350	300	4,4	0,3	-	0,8	2,5	9,8	1,00	12,0	3600	53	3,6	-	9,6	30	118
		Estrume curtido	8,0	350	240	6,8	0,7	-	1,8	5,0	19,5		8,0	1920	54	5,6	-	14,4	40	156
Aves .....	Lugar de galinhas poedeiras .....	Excrementos ...	0,027	350	250	21,0	8,4	-	12,6	17,0	11,0	0,013	2,1	519	44	17,4	-	26,2	35	23
		Estrume .....	0,015	500	330	27,0	11,0	-	16,0	30,0	20,0		1,2	381	31	12,7	-	18,5	35	23
	Lugar de frangos de recria (16) .....	Estrume .....	0,008	500	430	30,0	12,0	-	18,0	26,0	15,0	0,006	1,3	573	40	16,0	-	24,0	35	20
	Lugar de frangos de engorda (17) .....	Estrume .....	0,008	650	440	34,0	14,0	-	21,0	20,0	28,0	0,006	1,3	587	45	18,7	-	28,0	27	37
	Lugar de perus (18) .....	Estrume .....	0,030	600	400	28,0	12,0	-	18,0	23,0	13,0	0,025	1,2	480	34	14,4	-	21,6	28	16

### **Anexo III - Exemplo da carta de pedido de dados enviada as ETAR**

Fernando Alves

Santo António dos Cavaleiros-Loures, ed.14-5C

2660-295. LISBOA

TEL:933282384

E-mail: ffpalves@gmail.com

**ASSUNTO:** Pedido de dados para elaboração do trabalho final de mestrado em Engenharia Civil, ramo de hidráulica do ISEL

Lisboa, Junho de 2018

Exma. Senhor(a)

Encontro-me de momento a desenvolver o trabalho final de mestrado (TFM) em Engenharia Civil no ramo de hidráulica, pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) intitulada “*Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR*”, sob orientação da Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos (ISEL) e a Engenheira Ana Paula de Sousa Teixeira (EPAL)

O principal objectivo deste trabalho é realizar um levantamento relativo a capacidade instalada e ao grau de eficiência do processo da digestão anaeróbia levado a cabo pelas ETAR em Portugal, e a possibilidade da realização de uma co-digestão anaeróbia com outros substratos que não estejam a ser incorporados, bem como ter noção do potencial para a produção do biogás. A concretização de tal objectivo está condicionada à obtenção de um conjunto significativo de dados relacionados, essencialmente, com a exploração, operação e instalações.

Nesse sentido, ficaria muito grato se pudesse contar com o vosso apoio, através do preenchimento da ficha anexa.

Peço a Vossa autorização para apresentar os dados disponibilizados na dissertação em epígrafe, comprometendo-me a não os utilizar ou divulgar para outros fins.

Encontro-me disponível para qualquer esclarecimento adicional.

Agradecendo antecipadamente a Vossa colaboração, subscrevo-me com a mais elevada consideração.

Atenciosamente,

Fernando Alves

**Anexo:** *Ficheiro em Excel*

### Exemplar do Inquérito enviado as ETAR

mês -ano	<i>Pré-tratamento</i>					<i>Lamas Mistas</i>								
	Q lamas primárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas secundárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas pré-tratadas (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas espessadas (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas estabilizadas (m <sup>3</sup> /d)	Q volúmico (m <sup>3</sup> /d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m <sup>3</sup> /d)
Jan-15														
Feb-15														
Mar-15														
Apr-15														
May-15														
Jun-15														
Jul-15														
Aug-15														
Sep-15														
Oct-15														
Nov-15														
Dec-15														
Jan-16														
Feb-16														
Mar-16														
Apr-16														
May-16														
Jun-16														
Jul-16														
Aug-16														
Sep-16														
Oct-16														
Nov-16														
Dec-16														
Jan-17														
Feb-17														
Mar-17														
Apr-17														
May-17														
Jun-17														
Jul-17														
Aug-17														
Sep-17														
Oct-17														
Nov-17														
Dec-17														
Jan-18														
Feb-18														
Mar-18														
Apr-18														
May-18														

	<i>Lamas digeridas</i>				<i>Destino final das lamas</i>			
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - valorização agrícola (m <sup>3</sup> /d)
mês - ano								
Jan-15								
Feb-15								
Mar-15								
Apr-15								
May-15								
Jun-15								
Jul-15								
Aug-15								
Sep-15								
Oct-15								
Nov-15								
Dec-15								
Jan-16								
Feb-16								
Mar-16								
Apr-16								
May-16								
Jun-16								
Jul-16								
Aug-16								
Sep-16								
Oct-16								
Nov-16								
Dec-16								
Jan-17								
Feb-17								
Mar-17								
Apr-17								
May-17								
Jun-17								
Jul-17								
Aug-17								
Sep-17								
Oct-17								
Nov-17								
Dec-17								
Jan-18								
Feb-18								
Mar-18								
Apr-18								
May-18								

mês - ano	Biogás						Energia					Biogás usado noutro tipo de valorização(kWh/mês)
	Q (m <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (%)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	
Jan-15												
Feb-15												
Mar-15												
Apr-15												
May-15												
Jun-15												
Jul-15												
Aug-15												
Sep-15												
Oct-15												
Nov-15												
Dec-15												
Jan-16												
Feb-16												
Mar-16												
Apr-16												
May-16												
Jun-16												
Jul-16												
Aug-16												
Sep-16												
Oct-16												
Nov-16												
Dec-16												
Jan-17												
Feb-17												
Mar-17												
Apr-17												
May-17												
Jun-17												
Jul-17												
Aug-17												
Sep-17												
Oct-17												
Nov-17												
Dec-17												
Jan-18												
Feb-18												
Mar-18												
Apr-18												
May-18												

<b>Pergunta</b>	<b>Resposta</b>
Tipo(s) de pré-tratamento do biogás	
Tipo(s) de equipamento de co-geração	

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim		Não	
Se Sim, qual é a origem?				
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)				
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)				
<b>Digestores</b>				
Volume (m <sup>3</sup> )				
Área (m <sup>2</sup> )				
Altura total (m)				
Altura útil (m)				
Temperatura a que é realizada a DA				
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira		Outro	
Número de estágios				
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua		Descontínua	
Sistema de agitação usado no processo da DA				

\* Assina-la com um "X".

## Anexo IV - Resposta aos Inquéritos

### ETAR 1

mês - ano	Pré-tratamento					Lamas Mistas									
	Q lamas primárias (m³/d)	Q lamas secundárias (m³/d)	Q lamas pré-tratadas (m³/d)	Q lamas espessadas - (m³/d)	Q lamas estabilizadas - (m³/d)	Q volúmico (m³/d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Akalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m³/d)	
Jan-15								31.3	N.M.	N.M.	N.M.		84.6		
Feb-15	2,148	N.M.	N.M.	667		667	233,292	35.0	N.M.	N.M.	N.M.		84.8	667	
Mar-15	2,188	N.M.	N.M.	648		648	220,478	34.0	N.M.	N.M.	N.M.		86.5	648	
Apr-15	2,338	N.M.	N.M.	582		582	197,869	34.0	N.M.	N.M.	N.M.		85.4	582	
May-15	4,563	N.M.	N.M.	614		614	288,392	47.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.5	614	
Jun-15				1,013		1,013	476,231	47.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.1	1,013	
Jul-15	4,716	N.M.	N.M.	949		949	408,031	43.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.2	949	
Aug-15	4,665	N.M.	N.M.	970		970	446,378	46.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.1	970	
Sep-15	4,544	N.M.	N.M.	950		950	446,424	47.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.8	950	
Oct-15	3,238	N.M.	N.M.	979		979	381,693	39.0	N.M.	N.M.	N.M.		77.6	979	
Nov-15	2,239	N.M.	N.M.	835		835	283,911	34.0	N.M.	N.M.	N.M.		84.2	N.M.	835
Dec-15	2,274	N.M.	N.M.	629		629	270,355	43.0	N.M.	N.M.	N.M.		78.6	N.M.	629
				718											
Jan-16	1,461	N.M.	N.M.			0	0	32.0	N.M.	N.M.	N.M.		83.1	N.M.	0
Feb-16	1,060	N.M.	N.M.	531		531	181,923	34.3	N.M.	N.M.	N.M.		80.8	N.M.	531
Mar-16	2,217	N.M.	N.M.	398		398	171,021	43.0	N.M.	N.M.	N.M.		83.4	N.M.	398
Apr-16	2,270	N.M.	N.M.			0	0	39.0	N.M.	N.M.	N.M.		84.0	N.M.	0
May-16	3,844	N.M.	N.M.			0	0	44.0	N.M.	N.M.	N.M.		80.5	N.M.	0
Jun-16		N.M.	N.M.			0	0	49.0	N.M.	N.M.	N.M.		77.8	N.M.	0
Jul-16	3,824	N.M.	N.M.	914		914	438,875	48.0	N.M.	N.M.	N.M.		79.9	N.M.	914
Aug-16	3,672	N.M.	N.M.			0	0	57.6	N.M.	N.M.	N.M.		78.9	N.M.	0
Sep-16	3,666	N.M.	N.M.	952		952	482,782	50.7	N.M.	N.M.	N.M.		78.9	N.M.	952
Oct-16	2,126	N.M.	N.M.	691		691	352,657	51.0	N.M.	N.M.	N.M.		82.8	N.M.	691
Nov-16	787	N.M.	N.M.	244		244	124,423	51.0	N.M.	N.M.	N.M.		84.3	N.M.	244
Dec-16	25	N.M.	N.M.	0		0	0		N.M.	N.M.	N.M.			N.M.	0
Jan-17	1,015	N.M.	N.M.	469		469	182,948	39.0	N.M.	N.M.	N.M.		2.7	N.M.	469
Feb-17	1,818	N.M.	N.M.	669		669	317,292	47.4	N.M.	N.M.	N.M.			N.M.	669
Mar-17	2,059	N.M.	N.M.	523		523	266,911	51.0	N.M.	N.M.	N.M.			N.M.	523
Apr-17		N.M.	N.M.	818		818	424,317	51.9	N.M.	N.M.	N.M.		84.5	N.M.	818
May-17	4,093	N.M.	N.M.	1,278		1,278	686,124	53.7	N.M.	N.M.	N.M.		70.7	N.M.	1,278
Jun-17	4,298	N.M.	N.M.	934		934	498,863	53.4	N.M.	N.M.	N.M.		73.2	N.M.	934
Jul-17	4,856	N.M.	N.M.	1,061		1,061	673,151	63.5	N.M.	N.M.	N.M.		76.3	N.M.	1,061
Aug-17	4,680	N.M.	N.M.	1,088		1,088	563,417	51.8	N.M.	N.M.	N.M.		76.3	N.M.	1,088
Sep-17	4,747	N.M.	N.M.	1,343		1,343	712,885	53.1	N.M.	N.M.	N.M.		76.3	N.M.	1,343
Oct-17	3,217	N.M.	N.M.	847		847	448,217	52.9	N.M.	N.M.	N.M.		81.3	N.M.	847
Nov-17	3,109	N.M.	N.M.	889		889	436,564	49.1	N.M.	N.M.	N.M.		81.3	N.M.	889
Dec-17	2,481	N.M.	N.M.	843		843	419,003	49.7	N.M.	N.M.	N.M.		81.3	N.M.	843
Jan-18	2,479	N.M.	N.M.	855		855	0		N.M.	604.0	281.8		6.2		855
Feb-18	2,795	N.M.	N.M.	830		830	36,951	4.5	N.M.	704.0	193.5		84.3	6.1	830
Mar-18	2,493	N.M.	N.M.	564		564	21,449	3.8	N.M.	573.0	481.0		76.3	6.6	564
Apr-18	2,590	N.M.	N.M.	633		633	27,413	4.3	N.M.	727.7	431.3		84.6	6.5	633
May-18	4,265	N.M.	N.M.	1,093		1,093	55,725	5.1	N.M.	406.0	36.0		80.4	6.7	1,093

mês - ano	<i>Lamas digeridas</i>				<i>Destino final das lamas</i>			Lamas desidratadas - Teor de sólidos totais (ST) (%)	
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (ton/d)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas -aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)		Q lamas -valorização agrícola (ton/d)
Jan-15	667			N.M.	267.06	0	0	267.06	28.63
Feb-15	648	2,570	173	N.M.	244.83	0	0	244.83	28.68
Mar-15	582	2,633	185	N.M.	202.49	0	0	202.49	26.20
Apr-15	614	2,603	217	N.M.	251.49	0	0	251.49	29.70
May-15	1,013	2,440	189	N.M.	652.31	0	0	652.31	26.10
Jun-15	949	2,627	355	N.M.	660.68	0	0	660.68	24.00
Jul-15	970			N.M.	786.02	0	0	786.02	24.30
Aug-15	950			N.M.	742.83	0	0	742.83	23.80
Sep-15	979	2,267	167	N.M.	724.45	0	0	724.45	23.10
Oct-15	835	1,900	100	N.M.	653.36	0	0	653.36	24.10
Nov-15	629	2,000	100	N.M.	362.62	0	0	362.62	26.00
Dec-15	718	2,033	100	N.M.	372.33	0	0	372.33	29.10
Jan-16	531	1,350	883	N.M.	24.79	0	0	24.79	29.95
Feb-16	398	2,150	100	N.M.	20.26	0	0	20.26	30.00
Mar-16		2,533	100	N.M.	25.09	0	0	25.09	28.80
Apr-16		2,600	117	N.M.	27.02	0	0	27.02	30.20
May-16		2,650	100	N.M.	64.59	0	0	64.59	26.52
Jun-16		2,350	117	N.M.	100.68	0	0	100.68	23.01
Jul-16	914	2,400	100	N.M.	97.08	0	0	97.08	24.32
Aug-16		2,550	200	N.M.	97.62	0	0	97.62	23.03
Sep-16	952	2,533	100	N.M.	102.11	0	0	102.11	25.64
Oct-16	691	2,533	100	N.M.	61.60	0	0	61.60	24.78
Nov-16	244	2,433	100	N.M.	21.29	0	0	21.29	27.30
Dec-16	0			N.M.	0.00	0	0	0.00	
Jan-17	469	1,800	340	N.M.	229.82	0	0	229.82	28.78
Feb-17	669			N.M.	273.08	0	0	273.08	27.04
Mar-17	523			N.M.	206.86	0	0	206.86	30.38
Apr-17	818	1,550	202	N.M.	398.92	0	0	398.92	31.26
May-17	1,278	2,133	240	N.M.	482.36	0	0	482.36	26.73
Jun-17	934	1,517	105	N.M.	359.65	0	0	359.65	28.12
Jul-17	1,061	1,967	733	N.M.	721.39	0	0	721.39	26.60
Aug-17	1,088	1,873	57	N.M.	674.52	0	0	674.52	22.00
Sep-17	1,343	1,988	90	N.M.	1023.04	0	0	1023.04	26.60
Oct-17	847	2,164	79	N.M.	686.88	0	0	686.88	27.00
Nov-17	889	2,454	91	N.M.	498.15	0	0	498.15	27.00
Dec-17	843	3,068	106	N.M.	395.01	0	0	395.01	27.00
Jan-18	855	2,505	105	N.M.		0	0		
Feb-18	830	2,502	110	N.M.		0	0		
Mar-18	564	2,240	72	N.M.		0	0		
Apr-18	633	2,294	73	N.M.		0	0		
May-18	1,093	1,998	86	N.M.		0	0		

Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

N.M. - Não monitorizado							<b>Pergunta</b>		<b>Resposta</b>			
							Tipo(s) de pré-tratamento do biogás		Scrubber (não se encontra em funcionamento)			
							Tipo(s) de equipamento de co-geração		3 cogerações (3x957kWe)			
<b>Biogás</b>							<b>Energia</b>					
mês - ano	Q (m <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	Biogás usado noutro tipo de valorização(kWh/mês)
Jan-15	12,272	61.7			N.M.	0	1,871,220	1,149,605	721,615		N.M.	0
Feb-15	12,850	62.1			N.M.	0	1,674,203	991,662	682,541		N.M.	0
Mar-15	11,425	61.0			N.M.	0	1,702,430	1,003,951	698,479		N.M.	0
Apr-15	11,859	61.1			N.M.	0	1,722,025	1,031,502	690,523		N.M.	0
May-15	21,159	62.2			N.M.	0	2,788,933	1,537,949	1,250,984		N.M.	0
Jun-15	18,674	62.1			N.M.	0	2,572,061	1,492,472	1,079,589		N.M.	0
Jul-15	20,827	61.9			N.M.	0	2,895,858	1,641,076	1,254,782		N.M.	0
Aug-15	19,514	62.4		144	N.M.	0	3,019,703	1,690,464	1,329,239		N.M.	0
Sep-15	20,727	60.5		93	N.M.	0	2,864,202	1,650,902	1,213,300		N.M.	0
Oct-15	16,134	61.2			N.M.	0	2,366,065	1,402,596	963,469		N.M.	0
Nov-15	11,878	60.6			N.M.	0	1,792,424	1,061,511	730,913		N.M.	0
Dec-15	13,027	61.1			N.M.	0	1,877,746	1,083,420	794,326		N.M.	0
Jan-16	7,630	63.8		1	N.M.	0	1,589,005	1,081,195	507,810		N.M.	0
Feb-16	6,084	64.7			N.M.	0	1,214,340	847,014	367,326		N.M.	0
Mar-16	9,224	63.7			N.M.	0	1,491,041	904,710	586,331		N.M.	0
Apr-16	10,241	62.4			N.M.	0	1,524,219	898,459	625,760		N.M.	0
May-16	14,123	63.5			N.M.	0	2,418,278	1,473,801	944,477		N.M.	0
Jun-16	17,369	64.3			N.M.	0	2,585,598	1,453,512	1,132,086		N.M.	0
Jul-16	16,382	64.9		77	N.M.	0	2,605,756	1,467,171	1,138,585		N.M.	0
Aug-16	15,378	65.2			N.M.	0	2,472,459	1,388,395	1,084,064		N.M.	0
Sep-16	15,635	64.9			N.M.	0	2,364,057	1,327,892	1,036,165		N.M.	0
Oct-16	8,565	63.3			N.M.	0	1,295,836	777,042	518,794		N.M.	0
Nov-16	2,690	63.8			N.M.	0	741,445	567,286	174,159		N.M.	0
Dec-16	0				N.M.	0	408,162	408,162	0		N.M.	0
Jan-17	0	25.5			N.M.	0	711,411	711,411	0		N.M.	0
Feb-17	0	17.0			N.M.	0	765,942	765,942	0		N.M.	0
Mar-17	0	26.9		1,899	N.M.	0	868,695	868,695	0		N.M.	0
Apr-17	0	29.7		1,453	N.M.	0	838,541	838,541	0		N.M.	0
May-17	322	61.4		37	N.M.	0	1,241,033	1,223,622	17,411		N.M.	0
Jun-17	1,123	59.2		31	N.M.	0	946,482	817,129	129,353		N.M.	0
Jul-17	9,661	66.2			N.M.	0	1,707,473	1,007,556	699,917		N.M.	0
Aug-17	11,455	65.0			N.M.	0	2,080,607	1,216,429	864,178		N.M.	0
Sep-17	15,575	65.1			N.M.	0	2,474,443	1,377,043	1,097,400		N.M.	0
Oct-17	10,645	64.7			N.M.	0	1,712,472	979,843	732,629		N.M.	0
Nov-17	10,607	64.3			N.M.	0	1,619,491	924,635	694,856		N.M.	0
Dec-17	9,962	59.4		37	N.M.	0	1,684,609	962,513	722,096		N.M.	0
Jan-18	15,101				N.M.	0	910,526	252,506	658,020	0	N.M.	0
Feb-18	17,054				N.M.	0	834,374	222,651	611,723	0	N.M.	0
Mar-18	11,396				N.M.	0	901,763	259,093	642,670	0	N.M.	0
Apr-18	12,939				N.M.	0	891,734	262,653	629,081	0	N.M.	0
May-18	19,236				N.M.	0	1,549,971	369,727	1,180,244	0	N.M.	0

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim		Não	X
Se Sim, qual é a origem?				
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)				
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)	52%			
<b>Digestores</b>	3 un.			
Volume (m <sup>3</sup> )	21504			
Área (m <sup>2</sup> )	1593			
Altura total (m)	16.1			
Altura útil (m)	13.5			
Temperatura a que é realizada a DA	34.4			
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira	X	Outro	
Número de estágios	1			
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua		Descontínua	X
Sistema de agitação usado no processo da DA	Injeção de biogás			

ETAR 2

mês -ano	Pré-tratamento						Lamas Mistas								
	Q lamas primárias (m³/d)	Q lamas secundárias (m³/d)	Q lamas pré-tratadas (m³/d)	Q lamas espessadas - (m³/d)	Q lamas estabilizadas - (m³/d)	Q volúmico (m³/d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m³/d)	
Jan-15			872	N.M.	N.M.	N.A.			2.7	N.M.	400.0	405.0	85.0	6.5	
Feb-15			1,488	N.M.	N.M.	N.A.			3.4	N.M.	395.0	465.0	85.3	6.3	
Mar-15			1,395	N.M.	N.M.	N.A.			3.8	N.M.	738.4	587.6	82.2	5.9	
Apr-15			1,210	N.M.	N.M.	N.A.			2.9	N.M.	322.8	401.0	82.8	6.4	
May-15			1,054	N.M.	N.M.	N.A.			2.6	N.M.	294.5	308.0	86.4	6.1	
Jun-15			1,227	N.M.	N.M.	N.A.			2.7	N.M.	386.4	297.8	83.7	6.2	
Jul-15			1,221	N.M.	N.M.	N.A.			2.5	N.M.	413.8	320.8	82.2	6.4	
Aug-15			701	N.M.	N.M.	N.A.			2.8	N.M.	447.6	292.4	78.4	6.3	
Sep-15			679	N.M.	N.M.	N.A.			2.3	N.M.	461.8	316.3	86.2	6.4	
Oct-15			1,213	N.M.	N.M.	N.A.			3.0	N.M.	503.5	438.5	78.2	5.7	
Nov-15	1,593	1,529	N.M.	N.M.	N.A.	341	7,900	2.3	N.M.	356.8	245.2	84.6	6.1	341	
Dec-15	2,307	1,009	N.M.	N.M.	N.A.	331	8,636	2.6	N.M.	377.0	183.5	78.7	6.4	331	
Jan-16	2,214	725	N.M.	N.M.	N.A.	326	6,911	2.1	N.M.	313.0	119.0	72.3	6.4	326	
Feb-16	2,014	1,034	N.M.	N.M.	N.A.	319	8,173	2.6	N.M.	354.0	171.8	83.6	6.3	319	
Mar-16	2,052	1,380	N.M.	N.M.	N.A.	342	9,923	2.9	N.M.	395.0	267.5	82.8	6.0	342	
Apr-16	2,009	1,531	N.M.	N.M.	N.A.	342	10,592	3.1	N.M.	382.0	266.0	81.5	6.1	342	
May-16	2,007	911	N.M.	N.M.	N.A.	314	9,097	2.9	N.M.	390.8	255.3	83.6	6.2	314	
Jun-16	2,080	1,156	N.M.	N.M.	N.A.	269	7,125	2.7	N.M.	422.0	324.3	84.9	5.9	269	
Jul-16	2,114	1,735	N.M.	N.M.	N.A.	352	7,977	2.3	N.M.	940.5	802.0	78.3	5.9	352	
Aug-16	2,205	1,278	N.M.	N.M.	N.A.	309	7,472	2.4	N.M.	598.0	338.0	81.0	6.0	309	
Sep-16	2,135	861	N.M.	N.M.	N.A.	305	7,942	2.6	N.M.	515.8	315.8	78.8	5.8	305	
Oct-16	2,247	1,407	N.M.	N.M.	N.A.	354	9,769	2.8	N.M.	547.6	479.8	78.3	5.7	354	
Nov-16	2,139	1,419	N.M.	N.M.	N.A.	333	9,829	3.0	N.M.	398.8	445.0	78.0	5.7	333	
Dec-16	2,182	1,305	N.M.	N.M.	N.A.	318	8,976	2.8	N.M.	461.3	292.0	77.9	5.8	318	
Jan-17	2,365	1,548	N.M.	N.M.	N.A.	329	8,365	2.5	N.M.	444.0	411.8	81.1	6.0	329	
Feb-17	2,511	1,497	N.M.	N.M.	N.A.	357	12,406	3.5	N.M.	653.3	635.0	80.6	5.6	357	
Mar-17	2,595	1,373	N.M.	N.M.	N.A.	314	8,803	2.8	N.M.	510.3	415.8	80.4	5.8	314	
Apr-17	2,661	1,487	N.M.	N.M.	N.A.	352	9,768	2.8	N.M.	524.0	418.8	79.3	5.9	352	
May-17	2,700	1,703	N.M.	N.M.	N.A.	373	10,897	2.9	N.M.	531.2	423.2	79.5	5.9	373	
Jun-17	2,607	1,600	N.M.	N.M.	N.A.	167	4,771	2.9	N.M.	489.0	348.8	78.9	6.0	167	
Jul-17	2,443	1,542	N.M.	N.M.	N.A.	146	4,030	2.8	N.M.	584.8	440.4	81.2	6.0	146	
Aug-17	2,475	1,165	N.M.	N.M.	N.A.	222	5,538	2.5	N.M.	585.0	359.7	82.7	5.9	222	
Sep-17	2,511	1,148	N.M.	N.M.	N.A.	345	9,236	2.7	N.M.	516.3	331.5	80.4	5.9	345	
Oct-17	2,479	1,281	N.M.	N.M.	N.A.	335	7,577	2.3	N.M.	647.6	400.0	78.8	6.0	335	
Nov-17	2,494	1,326	N.M.	N.M.	N.A.	353	9,878	2.8	N.M.	498.5	386.8	77.7	6.0	353	
Dec-17	2,453	1,349	N.M.	N.M.	N.A.	352	9,499	2.7	N.M.	509.8	447.8	82.4	6.1	352	
Jan-18	2,130	1,153	N.M.	N.M.	N.A.	276	8,762	3.2	N.M.	610.2	647.6	83.6	5.9	276	
Feb-18	2,122	1,398	N.M.	N.M.	N.A.	403	8,154	2.0	N.M.	980.5	671.8	80.2	6.1	403	
Mar-18	2,108	1,379	N.M.	N.M.	N.A.	331	8,796	2.7	N.M.	1008.8	1227.0	78.0	5.8	331	
Apr-18	2,133	959	N.M.	N.M.	N.A.	300	9,418	3.1	N.M.	593.2	598.6	79.0	5.5	300	
May-18	2,016	1,278	N.M.	N.M.	N.A.	356	10,934	3.1	N.M.	501.7	336.3	78.9	5.9	356	

mês - ano	<i>Lamas digeridas</i>					<i>Destino final das lamas</i>			Lamas desidratadas - Teor de sólidos totais (ST) (%)
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (ton/d)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas -aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas -valorização agrícola (ton/d)	
Jan-15		1,946	485	N.M.	25.91	0	0	25.91	18.50
Feb-15		1,859	485	N.M.	23.78	0	0	23.78	18.00
Mar-15		2,156	331	N.M.	31.18	0	0	31.18	16.80
Apr-15		2,069	454	N.M.	31.39	0	0	31.39	17.00
May-15		2,166	508	N.M.	25.72	0	0	25.72	18.50
Jun-15		1,856	402	N.M.	32.09	0	0	32.09	17.80
Jul-15		1,980	293	N.M.	27.27	0	0	27.27	17.67
Aug-15		1,812	236	N.M.	22.44	0	0	22.44	18.40
Sep-15		1,650	533	N.M.	19.95	0	0	19.95	20.25
Oct-15		1,738	125	N.M.	24.07	0	0	24.07	20.00
Nov-15	385	1,790	155	N.M.	64.83	0	0	64.83	18.40
Dec-15	383	1,766	175	N.M.	27.33	0	0	27.33	19.50
Jan-16	350	1,603	127	N.M.	19.35	0	0	19.35	21.25
Feb-16	384	1,574	169	N.M.	23.23	0	0	23.23	18.80
Mar-16	401	1,678	155	N.M.	31.83	0	0	31.83	18.50
Apr-16	374	1,772	249	N.M.	33.29	0	0	33.29	18.80
May-16	360	1,729	181	N.M.	22.74	0	0	22.74	19.60
Jun-16	298	1,815	205	N.M.	19.82	0	0	19.82	18.00
Jul-16	413	1,592	265	N.M.	33.17	0	0	33.17	17.75
Aug-16	341	1,385	173	N.M.	28.37	0	0	28.37	18.60
Sep-16	329	1,688	174	N.M.	25.59	0	0	25.59	20.75
Oct-16	372	1,312	206	N.M.	25.75	0	0	25.75	19.00
Nov-16	424	1,071	401	N.M.	31.03	0	0	31.03	18.50
Dec-16	391	897	724	N.M.	23.21	0	0	23.21	19.00
Jan-17	404	1,241	589	N.M.	23.57	0	0	23.57	20.00
Feb-17	377	1,071	365	N.M.	33.96	0	0	33.96	18.00
Mar-17	357	1,442	319	N.M.	28.95	0	0	28.95	18.60
Apr-17	394	1,162	463	N.M.	31.55	0	0	31.55	19.00
May-17	422	1,152	400	N.M.	40.21	0	0	40.21	18.50
Jun-17	412	1,505	327	N.M.	36.91	0	0	36.91	18.50
Jul-17	413	1,506	288	N.M.	30.61	0	0	30.61	19.00
Aug-17	378	1,366	236	N.M.	25.42	0	0	25.42	19.00
Sep-17	389	1,813	202	N.M.	25.24	0	0	25.24	20.50
Oct-17	371	1,472	171	N.M.	21.86	0	0	21.86	31.20
Nov-17	390	1,290	267	N.M.	26.23	0	0	26.23	18.50
Dec-17	393	1,435	324	N.M.	27.49	0	0	27.49	17.50
Jan-18	290	1,496	296	N.M.	26.72	0	0	26.72	18.00
Feb-18	423	1,598	399	N.M.	34.77	0	0	34.77	19.00
Mar-18	380	1,217	401	N.M.	39.91	0	0	39.91	23.00
Apr-18	348	1,397	505	N.M.	29.31	0	0	29.31	18.20
May-18	405	1,470	398	N.M.	37.47	0	0	37.47	17.50

Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

N.M. - Não monitorizado							<b>Pergunta</b>		<b>Resposta</b>			
							Tipo(s) de pré-tratamento do biogás		Filtro de brita + purificador "esponja" de ferro e madeira + secador frigorífico			
							Tipo(s) de equipamento de co-geração		1 cogeração (171 kWe)			
<b>Biogás</b>							<b>Energia</b>					
mês - ano	Q (m <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	Biogás usado nouro tipo de valorização(kWh/mês)
Jan-15	2,896	66.9		1,874	N.M.	2,896	414,645	238,855	175,790	0	N.M.	0
Feb-15	4,176	67.7		3,975	N.M.	4,176	420,192	260,932	159,260	0	N.M.	0
Mar-15	4,087	67.0		2,477	N.M.	4,087	470,284	284,044	186,240	0	N.M.	0
Apr-15	2,963	66.6		2,120	N.M.	2,963	423,372	246,432	176,940	0	N.M.	0
May-15	3,069	67.6		1,866	N.M.	3,069	433,954	268,194	165,760	0	N.M.	0
Jun-15	3,531	66.9		1,426	N.M.	3,531	405,781	228,861	176,920	0	N.M.	0
Jul-15		65.0		2,048	N.M.		429,588	336,388	93,200	0	N.M.	0
Aug-15					N.M.		407,875	302,965	104,910	0	N.M.	0
Sep-15					N.M.		404,069	305,489	98,580	0	N.M.	0
Oct-15					N.M.		407,263	321,683	85,580	0	N.M.	0
Nov-15		68.6		960	N.M.		406,880	329,730	77,150	0	N.M.	0
Dec-15		65.7		1,967	N.M.		417,232	277,215	140,017	0	N.M.	0
Jan-16	2,090	65.0		1,313	N.M.	2,090	404,205	251,949	152,256	0	N.M.	0
Feb-16	2,538	65.5		729	N.M.	2,538	404,685	237,717	166,968	0	N.M.	0
Mar-16	2,572	65.2		1,609	N.M.	2,572	411,224	223,840	187,384	0	N.M.	0
Apr-16	1,151	64.0		1,604	N.M.	1,151	404,558	323,425	81,133	0	N.M.	0
May-16	1,586	65.0		1,813	N.M.	1,586	417,511	302,000	115,511	0	N.M.	0
Jun-16	1,676	68.0		2,256	N.M.	1,676	425,070	306,894	118,176	0	N.M.	0
Jul-16	1,576				N.M.	1,576	434,119	319,295	114,824	0	N.M.	0
Aug-16	1,536				N.M.	1,536	429,208	317,292	111,916	0	N.M.	0
Sep-16	1,537				N.M.	1,537	397,531	289,176	108,355	0	N.M.	0
Oct-16	1,650				N.M.	1,650	416,790	296,553	120,237	0	N.M.	0
Nov-16	899	68.7		4,143	N.M.	899	410,539	347,185	63,354	0	N.M.	0
Dec-16	121	64.9		2,452	N.M.	121	431,785	422,982	8,803	0	N.M.	0
Jan-17	1,098				N.M.	1,098	471,840	391,815	80,025	0	N.M.	0
Feb-17	1,159	62.0			N.M.	1,159	383,353	307,076	76,277	0	N.M.	0
Mar-17	1,029	64.5	32.8	3,000	N.M.	1,029	407,167	332,202	74,965	0	N.M.	0
Apr-17	905	73.1		2,029	N.M.	905	437,971	374,164	63,807	0	N.M.	0
May-17	596				N.M.	596	444,089	400,687	43,402	0	N.M.	0
Jun-17	1,485	75.0		5,000	N.M.	1,485	432,459	327,780	104,679	0	N.M.	0
Jul-17	974	73.2		5,000	N.M.	974	412,621	344,556	68,065	0	N.M.	0
Aug-17	1,133	74.4		5,000	N.M.	1,133	391,230	312,080	79,150	0	N.M.	0
Sep-17	1,587	75.4		4,452	N.M.	1,587	378,066	270,758	107,308	0	N.M.	0
Oct-17	164	72.0		963	N.M.	164	386,013	374,536	11,477	0	N.M.	0
Nov-17	942				N.M.	942	436,059	372,349	63,710	0	N.M.	0
Dec-17	1,456				N.M.	1,456	437,232	335,486	101,746	0	N.M.	0
Jan-18	1,458				N.M.	1,458	453,522	348,276	105,246	0	N.M.	0
Feb-18	1,550				N.M.	1,550	431,452	337,007	94,445	0	N.M.	0
Mar-18	1,225	58.0	34.4	1,695	N.M.	1,225	455,215	393,905	61,310	0	N.M.	0
Apr-18	1,429	65.4	26.45	2,899	N.M.	1,429	449,915	364,578	85,337	0	N.M.	0
May-18	1,508				N.M.	1,508	531,349	440,549	90,800	0	N.M.	0

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim		Não	X
Se Sim, qual é a origem?				
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)				
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)	38%			
<b>Digestores</b>	2 un.			
Volume (m <sup>3</sup> )	4940			
Área (m <sup>2</sup> )	454			
Altura total (m)	15.1			
Altura útil (m)	13.2			
Temperatura a que é realizada a DA	30.1			
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira	X	Outro	
Número de estágios	1			
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua		Descontínua	X
Sistema de agitação usado no processo da DA	Agitação mecânica			

ETAR 3

mês - ano	Pré-tratamento						Lamas Mistas							
	Q lamas primárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas secundárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas pré-tratadas (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas espessadas - (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas estabilizadas - (m <sup>3</sup> /d)	Q volúmico (m <sup>3</sup> /d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m <sup>3</sup> /d)
Jan-15	1,043	999	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	310.0	399.0	80.6	6.4	N.M.
Feb-15	1,201	910	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.9	N.M.	385.0	450.0	78.6	6.5	N.M.
Mar-15	1,094	665	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.6	N.M.	573.0	440.2	76.4	6.1	N.M.
Apr-15	1,241	959	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.8	N.M.	295.3	249.8	79.1	6.6	N.M.
May-15	1,805	794	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.0	N.M.	281.0	271.6	79.5	6.4	N.M.
Jun-15	1,133	1,019	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.9	N.M.	312.3	263.8	78.4	6.4	N.M.
Jul-15	868	1,047	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.9	N.M.	489.3	265.5	80.3	6.4	N.M.
Aug-15	970	851	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.4	N.M.	526.0	472.0	78.1	6.0	N.M.
Sep-15	826	588	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	1.7	N.M.	425.3	229.7	83.8	6.4	N.M.
Oct-15	771	748	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	405.5	382.5	76.0	6.0	N.M.
Nov-15	942	1,017	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.6	N.M.	371.2	206.8	79.1	6.1	N.M.
Dec-15	672	779	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.3	N.M.	478.8	318.3	80.4	5.9	N.M.
Jan-16	645	756	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.7	N.M.	341.3	229.5	80.6	6.2	N.M.
Feb-16	683	838	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	1.7	N.M.	289.6	169.8	83.0	6.3	N.M.
Mar-16	717	855	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.8	N.M.	300.8	181.0	83.8	6.2	N.M.
Apr-16	684	752	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.9	N.M.	282.3	167.3	80.9	6.4	N.M.
May-16	656	732	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	471.6	223.6	80.8	6.2	N.M.
Jun-16	645	746	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.2	N.M.	514.0	375.0	78.7	5.9	N.M.
Jul-16	642	951	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.3	N.M.	387.2	268.0	81.0	5.9	N.M.
Aug-16	613	903	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.7	N.M.	434.3	263.5	80.4	6.1	N.M.
Sep-16	599	941	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.6	N.M.	523.0	315.3	78.1	6.0	N.M.
Oct-16	511	923	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.8	N.M.	530.2	222.0	81.2	6.0	N.M.
Nov-16	568	830	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.3	N.M.	256.5	232.5	80.4	6.1	N.M.
Dec-16	1,112	857	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.8	N.M.	303.5	135.8	82.1	6.0	N.M.
Jan-17	1,066	885	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.2	N.M.	267.4	142.2	81.9	6.4	N.M.
Feb-17	947	1,012	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.2	N.M.	296.8	115.5	68.7	6.3	N.M.
Mar-17	690	863	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.6	N.M.	220.5	142.8	83.3	6.3	N.M.
Apr-17	627	878	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.4	N.M.	446.5	278.5	85.1	5.9	N.M.
May-17	618	891	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	318.2	256.2	82.1	6.2	N.M.
Jun-17	660	825	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.7	N.M.	402.3	266.3	83.0	6.1	N.M.
Jul-17	600	738	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.4	N.M.	397.4	237.8	84.2	6.2	N.M.
Aug-17	808	794	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.5	N.M.	383.5	151.5	82.8	6.4	N.M.
Sep-17	824	816	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.3	N.M.	353.8	213.0	80.3	6.2	N.M.
Oct-17	927	933	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.9	N.M.	704.6	315.6	80.8	6.1	N.M.
Nov-17	1,261	1,215	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.2	N.M.	521.3	247.3	78.0	6.2	N.M.
Dec-17	1,352	1,284	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.6	N.M.	451.8	329.8	83.3	6.1	N.M.
Jan-18	1,360	1,120	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	539.6	506.6	85.6	5.8	N.M.
Feb-18	1,217	1,261	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	3.1	N.M.	443.0	373.5	82.8	5.7	N.M.
Mar-18	1,209	1,694	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.7	N.M.	243.0	209.0	82.4	5.9	N.M.
Apr-18	1,085	1,583	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.4	N.M.	349.8	297.0	82.3	6.0	N.M.
May-18	1,252	1,433	N.M.	N.M.	N.A.	N.M.	N.M.	2.3	N.M.	452.5	310.0	84.8	6.0	N.M.

mês - ano	<i>Lamas digeridas</i>					<i>Destino final das lamas</i>			Lamas desidratadas - Teor de sólidos totais (ST) (%)
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (ton/d)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas -valorização agrícola (ton/d)	
Jan-15	2	N.M.	N.M.	N.M.	25.16	0	0	25.16	22.50
Feb-15	1	N.M.	N.M.	N.M.	31.71	0	0	31.71	21.25
Mar-15	2	N.M.	N.M.	N.M.	24.10	0	0	24.10	22.75
Apr-15	1	N.M.	N.M.	N.M.	25.30	0	0	25.30	22.50
May-15		N.M.	N.M.	N.M.	21.73	0	0	21.73	20.20
Jun-15	192	2,794	247	N.M.	23.54	0	0	23.54	20.25
Jul-15		2,302	244	N.M.	19.76	0	0	19.76	19.50
Aug-15	286	1,232	440	N.M.	11.76	0	0	11.76	20.00
Sep-15	191	986	228	N.M.	11.08	0	0	11.08	20.00
Oct-15	96	1,705	234	N.M.	8.03	0	0	8.03	19.40
Nov-15	97	1,985	449	N.M.	9.81	0	0	9.81	19.60
Dec-15	117	1,923	219	N.M.	10.29	0	0	10.29	18.50
Jan-16	169	1,686	196	N.M.	15.32	0	0	15.32	18.25
Feb-16	12	1,005	145	N.M.	17.21	0	0	17.21	18.20
Mar-16	143	954	171	N.M.	9.16	0	0	9.16	18.67
Apr-16	99	1,519	239	N.M.	9.09	0	0	9.09	18.00
May-16	189	1,577	202	N.M.	15.39	0	0	15.39	18.40
Jun-16	141	1,352	204	N.M.	12.46	0	0	12.46	18.00
Jul-16	102	1,697	229	N.M.	11.38	0	0	11.38	17.60
Aug-16	163	1,750	203	N.M.	17.92	0	0	17.92	17.00
Sep-16	72	2,261	215	N.M.	8.78	0	0	8.78	17.00
Oct-16	145	1,703	207	N.M.	19.67	0	0	19.67	17.00
Nov-16	154	1,361	213	N.M.	17.83	0	0	17.83	17.00
Dec-16	148	1,331	181	N.M.	13.58	0	0	13.58	21.00
Jan-17	210	1,149	186	N.M.	15.89	0	0	15.89	16.60
Feb-17	241	604	179	N.M.	16.90	0	0	16.90	18.25
Mar-17	157	809	321	N.M.	10.13	0	0	10.13	17.05
Apr-17	142	1,452	242	N.M.	12.76	0	0	12.76	18.50
May-17	149	1,377	266	N.M.	11.41	0	0	11.41	17.20
Jun-17	189	1,484	314	N.M.	16.63	0	0	16.63	17.40
Jul-17	120	1,471	227	N.M.	8.77	0	0	8.77	17.80
Aug-17	127	963	225	N.M.	12.52	0	0	12.52	17.75
Sep-17	152	2,061	235	N.M.	16.55	0	0	16.55	17.75
Oct-17	219	1,693	225	N.M.	21.31	0	0	21.31	18.00
Nov-17	236	1,566	232	N.M.	21.54	0	0	21.54	18.50
Dec-17	221	1,518	313	N.M.	20.80	0	0	20.80	17.75
Jan-18	230	1,742	325	N.M.	34.87	0	0	34.87	17.00
Feb-18	243	2,454	430	N.M.	31.27	0	0	31.27	16.25
Mar-18	248	1,506	393	N.M.	33.83	0	0	33.83	15.25
Apr-18	216	1,603	258	N.M.	36.87	0	0	36.87	14.75
May-18	230	2,494	299	N.M.	43.16	0	0	43.16	13.65

Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

N.M. - Não monitorizado							<i>Pergunta</i>		<i>Resposta</i>			
							Tipo(s) de pré-tratamento do biogás		Purificador "esponja" de ferro e madeira			
							Tipo(s) de equipamento de co-geração		2 cogeneradores (2x140 kWe)			
							<i>Energia</i>					
<i>Biogás</i>							<i>Energia</i>					
mês - ano	Q (m³/d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m³/d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m³/mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	Biogás usado noutro tipo de valorização(kWh/mês)
Jan-15					N.M.		430,960	430,960	0	0	N.M.	0
Feb-15					N.M.		377,233	377,233	0	0	N.M.	0
Mar-15					N.M.		428,134	428,134	0	0	N.M.	0
Apr-15					N.M.		431,767	431,767	0	0	N.M.	0
May-15					N.M.		383,964	383,964	0	0	N.M.	0
Jun-15					N.M.		445,748	445,748	0	0	N.M.	0
Jul-15					N.M.		485,371	485,371	0	0	N.M.	0
Aug-15	0				N.M.	0	492,370	492,370	0	0	N.M.	0
Sep-15	130				N.M.	130	448,925	441,605	7,320	0	N.M.	0
Oct-15	720	59.1	37.1	1,385	N.M.	720	475,853	415,553	60,300	0	N.M.	0
Nov-15	404	59.1	35.9	1,498	N.M.	404	453,273	416,373	36,900	0	N.M.	0
Dec-15	0	60.4	34.6	1,385	N.M.	0	449,981	449,981	0	0	N.M.	0
Jan-16	0	0.0		0	N.M.	0	448,668	448,668	0	0	N.M.	0
Feb-16	179	65.9	27.7	1,502	N.M.	179	435,415	435,415	0	0	N.M.	0
Mar-16	861				N.M.	861	489,329	453,029	36,300	0	N.M.	0
Apr-16	893	62.1	35.2	1,450	N.M.	893	479,312	434,132	45,180	0	N.M.	0
May-16	961	62.3	33.2	1,303	N.M.	961	488,010	433,950	54,060	0	N.M.	0
Jun-16	1,004	60.9	35.3	1,303	N.M.	1,004	562,244	503,804	58,440	0	N.M.	0
Jul-16	1,135				N.M.	1,135	497,903	424,823	73,080	0	N.M.	0
Aug-16	1,228				N.M.	1,228	519,961	439,021	80,940	0	N.M.	0
Sep-16	980				N.M.	980	479,063	415,463	63,600	0	N.M.	0
Oct-16	852				N.M.	852	483,681	426,141	57,540	0	N.M.	0
Nov-16	734	63.1	36.3		N.M.	734	481,631	447,851	33,780	0	N.M.	0
Dec-16	716	62.5	36.4		N.M.	716	561,041	535,961	25,080	0	N.M.	0
Jan-17	430	62.0		2,100	N.M.	430	547,683	530,703	16,980	0	N.M.	0
Feb-17	256	61.0		2,400	N.M.	256	464,553	448,113	16,440	0	N.M.	0
Mar-17	500	60.9	31.5	2,198	N.M.	500	506,070	469,470	36,600	0	N.M.	0
Apr-17	689	64.0	35.5	2,600	N.M.	689	472,659	430,779	41,880	0	N.M.	0
May-17	371	65.0	34.6	2,540	N.M.	371	516,397	492,217	24,180	0	N.M.	0
Jun-17	690	69.0		2,777	N.M.	690	484,077	440,277	43,800	0	N.M.	0
Jul-17	754				N.M.	754	463,809	415,029	48,780	0	N.M.	0
Aug-17	1,020				N.M.	1,020	506,604	442,764	63,840	0	N.M.	0
Sep-17	1,078		34.9		N.M.	1,078	525,716	461,816	63,900	0	N.M.	0
Oct-17	1,337				N.M.	1,337	564,586	487,486	77,100	0	N.M.	0
Nov-17	1,196				N.M.	1,196	549,299	483,299	66,000	0	N.M.	0
Dec-17	1,180				N.M.	1,180	575,428	492,388	83,040	0	N.M.	0
Jan-18	1,572				N.M.	1,572	553,061	465,221	87,840	0	N.M.	0
Feb-18	2,270				N.M.	2,270	488,067	365,907	122,160	0	N.M.	0
Mar-18	1,570				N.M.	1,570	537,952	440,932	97,020	0	N.M.	0
Apr-18	2,281				N.M.	2,281	501,038	380,198	120,840	0	N.M.	0
May-18	2,893				N.M.	2,893	528,837	351,897	176,940	0	N.M.	0

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim		Não	X
Se Sim, qual é a origem?				
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)				
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)	30%			
<b>Digestores</b>	2 un.			
Volume (m <sup>3</sup> )	3600			
Área (m <sup>2</sup> )	387			
Altura total (m)	12.2			
Altura útil (m)	7.4			
Temperatura a que é realizada a DA	30.5			
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira	X	Outro	
Número de estágios	1			
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua		Descontínua	X
Sistema de agitação usado no processo da DA	Injeção de biogás			

ETAR 4

mês - ano	Pré-tratamento			Lamas Mistas										
	Q lamas primárias (m³/d)	Q lamas secundárias (m³/d)	Q lamas pré-tratadas (m³/d)	Q lamas espessadas - (m³/d)	Q lamas estabilizadas - (m³/d)	Q volúmico (m³/d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m³/d)
Jan-15	870	1,295	N.M.	N.M.	N.A.			5.1	N.M.	1705.0	N.M.	63.9	7.4	
Feb-15	855	1,312	N.M.	N.M.	N.A.			5.0	N.M.	1952.5	N.M.	62.6	7.3	
Mar-15	989	1,397	N.M.	N.M.	N.A.			4.7	N.M.	2077.2	N.M.	61.4	7.0	
Apr-15	1,277	1,405	N.M.	N.M.	N.A.			3.4	N.M.	2946.3	N.M.	61.8	7.3	
May-15	1,488	1,308	N.M.	N.M.	N.A.			3.8	N.M.	2576.0	N.M.	62.6	7.1	
Jun-15	1,201	1,237	N.M.	N.M.	N.A.	515	21,929	4.3	N.M.	2256.2	N.M.	64.3	6.7	515
Jul-15	1,067	1,600	N.M.	N.M.	N.A.	733	22,488	3.1	N.M.	777.3	N.M.	63.0	7.0	733
Aug-15	809	1,393	N.M.	N.M.	N.A.	645	25,042	3.9	N.M.	1164.8	N.M.	70.1	6.8	645
Sep-15	684	1,305	N.M.	N.M.	N.A.	537	18,260	3.4	N.M.	1472.0	N.M.	69.9	7.0	537
Oct-15	779	1,212	N.M.	N.M.	N.A.	456	16,200	3.6	N.M.	1993.8	N.M.	66.2	7.1	456
Nov-15	779	774	N.M.	N.M.	N.A.	437	14,598	3.3	N.M.	1489.8	N.M.	68.9	6.8	437
Dec-15	669	0	N.M.	N.M.	N.A.	404	12,816	3.2	N.M.	1567.3	N.M.	70.1	6.6	404
Jan-16	688	0	N.M.	N.M.	N.A.	388	13,970	3.6	N.M.	2079.3	N.M.	65.7	6.8	388
Feb-16	1,234	14	N.M.	N.M.	N.A.	384	10,242	2.7	N.M.	1814.0	N.M.	68.4	6.9	384
Mar-16	969	991	N.M.	N.M.	N.A.	458	24,155	5.3	N.M.	1969.0	N.M.	64.9	6.8	458
Apr-16	1,022	1,391	N.M.	N.M.	N.A.	365	13,888	3.8	N.M.	1153.0	N.M.	73.7	6.6	365
May-16	891	1,422	N.M.	N.M.	N.A.	402	9,182	2.3	N.M.	1827.6	N.M.	68.4	6.9	402
Jun-16	169	1,218	N.M.	N.M.	N.A.	590	19,478	3.3	N.M.	1259.5	N.M.	70.5	6.6	590
Jul-16	13	1,233	N.M.	N.M.	N.A.	1,084	29,264	2.7	N.M.	1513.0	N.M.	69.4	6.6	1,084
Aug-16	469	1,338	N.M.	N.M.	N.A.	980	31,372	3.2	N.M.	1947.8	N.M.	66.3	7.1	980
Sep-16	1,117	1,257	N.M.	N.M.	N.A.	855	27,359	3.2	N.M.	2068.3	N.M.	64.8	6.8	855
Oct-16	1,196	1,314	N.M.	N.M.	N.A.	978	28,370	2.9	N.M.	1444.0	N.M.	66.2	7.1	978
Nov-16	1,212	1,285	N.M.	N.M.	N.A.	765	30,423	4.0	N.M.	1406.8	N.M.	70.4	6.6	765
Dec-16	936	1,240	N.M.	N.M.	N.A.	739	25,315	3.4	N.M.	1383.3	N.M.	65.7	6.8	739
Jan-17	972	1,260	N.M.	N.M.	N.A.	756	29,338	3.9	N.M.	1708.8	N.M.	66.5	6.8	756
Feb-17	1,145	1,362	N.M.	N.M.	N.A.	675	26,310	3.9	N.M.	1697.5	N.M.	66.0	6.8	675
Mar-17	1,181	1,402	N.M.	N.M.	N.A.	737	30,603	4.2	N.M.	1697.8	N.M.	66.9	7.2	737
Apr-17	1,141	1,103	N.M.	N.M.	N.A.	819	53,250	6.5	N.M.	1184.0	N.M.	59.2	6.6	819
May-17	1,354	1,133	N.M.	N.M.	N.A.	758	30,781	4.1	N.M.	1893.2	N.M.	69.5	6.9	758
Jun-17	1,306	1,368	N.M.	N.M.	N.A.	940	33,379	3.6	N.M.	1209.5	N.M.	74.6	6.3	940
Jul-17	1,302	1,056	N.M.	N.M.	N.A.	897	32,953	3.7	N.M.	1956.5	N.M.	70.1	6.6	897
Aug-17	1,296	1,147	N.M.	N.M.	N.A.	777	30,547	3.9	N.M.	2188.3	N.M.	67.8	6.9	777
Sep-17	1,195	1,184	N.M.	N.M.	N.A.	914	30,388	3.3	N.M.	2180.0	N.M.	72.2	6.5	914
Oct-17	1,172	1,273	N.M.	N.M.	N.A.	1,071	39,002	3.6	N.M.	2475.8	N.M.	63.2	6.8	1,071
Nov-17	1,093	1,435	N.M.	N.M.	N.A.	997	32,655	3.3	N.M.	2140.5	N.M.	67.2	6.9	997
Dec-17	1,097	1,317	N.M.	N.M.	N.A.	1,057	54,685	5.2	N.M.	2619.8	N.M.	60.9	6.7	1,057
Jan-18	1,210	1,376	N.M.	N.M.	N.A.	987	50,717	5.1	N.M.	2286.2	N.M.	64.2	6.7	987
Feb-18	1,203	1,385	N.M.	N.M.	N.A.	880	37,183	4.2	N.M.	2071.8	N.M.	68.0	6.7	880
Mar-18	1,018	935	N.M.	N.M.	N.A.	695	19,271	2.8	N.M.	1993.7	N.M.	64.9	6.9	695
Apr-18	1,130	1,419	N.M.	N.M.	N.A.	975	27,801	2.9	N.M.	1670.0	N.M.	71.6	6.9	975
May-18	1,252	1,459	N.M.	N.M.	N.A.	868	29,958	3.5	N.M.	2202.8	N.M.	68.1	6.7	868

mês - ano	<i>Lamas digeridas</i>				<i>Destino final das lamas</i>			Lamas desidratadas - Teor de sólidos totais (ST) (%)	
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (ton/d)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)		Q lamas -valorização agrícola (ton/d)
Jan-15		2,709	622	N.M.	28.67	0	0	28.67	21.50
Feb-15		2,544	521	N.M.	32.94	0	0	32.94	21.00
Mar-15		2,098	304	N.M.	33.98	0	0	33.98	22.00
Apr-15		1,791	354	N.M.	38.70	0	0	38.70	21.67
May-15		1,750	441	N.M.	35.91	0	0	35.91	21.50
Jun-15	432	1,781	437	N.M.	37.21	0	0	37.21	24.00
Jul-15	733	1,505	200	N.M.	57.55	0	0	57.55	22.00
Aug-15	645	1,636	218	N.M.	41.61	0	0	41.61	22.67
Sep-15	519	1,574	231	N.M.	35.50	0	0	35.50	22.75
Oct-15	456	1,911	221	N.M.	36.94	0	0	36.94	21.33
Nov-15	408	1,749	312	N.M.	34.28	0	0	34.28	23.25
Dec-15	404	1,924	210	N.M.	38.04	0	0	38.04	23.67
Jan-16	388	1,838	223	N.M.	25.71	0	0	25.71	22.75
Feb-16	305	2,045	248	N.M.	17.71	0	0	17.71	22.75
Mar-16	366	1,903	291	N.M.	24.75	0	0	24.75	24.50
Apr-16	365	2,180	306	N.M.	34.77	0	0	34.77	24.75
May-16	402	2,500	238	N.M.	35.37	0	0	35.37	28.50
Jun-16	502	2,468	174	N.M.	36.56	0	0	36.56	24.75
Jul-16	648	2,090	152	N.M.	43.38	0	0	43.38	24.75
Aug-16	560	1,918	173	N.M.	42.21	0	0	42.21	24.20
Sep-16	505	2,196	177	N.M.	39.41	0	0	39.41	20.00
Oct-16	569	1,996	176	N.M.	41.95	0	0	41.95	24.50
Nov-16	446	2,006	224	N.M.	35.30	0	0	35.30	23.50
Dec-16	439	2,275	225	N.M.	29.17	0	0	29.17	23.25
Jan-17	451	2,757	220	N.M.	31.46	0	0	31.46	21.20
Feb-17	401	2,851	237	N.M.	35.08	0	0	35.08	22.75
Mar-17	428	2,835	266	N.M.	38.03	0	0	38.03	23.25
Apr-17	486	2,918	281	N.M.	37.87	0	0	37.87	24.25
May-17	429	2,222	380	N.M.	37.47	0	0	37.47	24.40
Jun-17	525	2,625	218	N.M.	35.57	0	0	35.57	23.75
Jul-17	506	2,523	188	N.M.	28.17	0	0	28.17	25.60
Aug-17	447	2,319	172	N.M.	34.53	0	0	34.53	25.67
Sep-17	524	2,569	201	N.M.	38.32	0	0	38.32	22.75
Oct-17	626	2,322	222	N.M.	45.77	0	0	45.77	23.20
Nov-17	574	2,330	194	N.M.	39.33	0	0	39.33	25.25
Dec-17	623	2,321	225	N.M.	36.60	0	0	36.60	24.33
Jan-18	575	2,391	262	N.M.	34.60	0	0	34.60	22.40
Feb-18	496	2,246	273	N.M.	34.60	0	0	34.60	22.25
Mar-18	423	2,380	213	N.M.	26.68	0	0	26.68	24.67
Apr-18	612	1,830	197	N.M.	31.22	0	0	31.22	21.90
May-18	542	2,186	241	N.M.	34.50	0	0	34.50	24.03

Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

N.M. - Não monitorizado							<i>Pergunta</i>		<i>Resposta</i>			
							Tipo(s) de pré-tratamento do biogás		Limalha de ferro + lavadores de biogás + secador frigorífico			
							Tipo(s) de equipamento de co-geração		2 cogeneradores (2x726 kWe)			
<i>Biogás</i>							<i>Energia</i>					
mês - ano	Q (m <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	Biogás usado noutro tipo de valorização(kWh/mês)
Jan-15	3,417				N.M.	3,417	1,009,023	818,352	190,671		0	0
Feb-15	2,706				N.M.	2,706	1,035,038	898,675	136,363		0	0
Mar-15	3,372	62,0	33	58	N.M.	3,372	1,040,414	852,270	188,145		0	0
Apr-15	3,469				N.M.	3,469	1,066,971	879,662	187,308		0	0
May-15	3,805				N.M.	3,805	1,031,320	818,995	212,325		0	0
Jun-15	0	67,0		67	N.M.	0	952,966	952,966	0		0	0
Jul-15	2,357	68,6		258	N.M.	2,357	982,356	850,824	131,531		0	0
Aug-15	0				N.M.	0	658,617	658,617	0		0	0
Sep-15	0				N.M.	0	736,150	736,150	0		0	0
Oct-15	0				N.M.	0	946,587	946,587	0		0	0
Nov-15	0				N.M.	0	777,267	777,267	0		0	0
Dec-15	2,578				N.M.	2,578	800,122	656,291	143,831		0	0
Jan-16	547	60,0		24	N.M.	547	814,757	784,223	30,533		0	0
Feb-16	1,705				N.M.	1,705	848,201	759,226	88,975		0	0
Mar-16	1,857				N.M.	1,857	952,445	848,836	103,608		0	0
Apr-16	2,826				N.M.	2,826	1,007,111	854,492	152,619		0	0
May-16	3,649				N.M.	3,649	1,054,181	850,572	203,609		0	0
Jun-16	3,716	63,5	27,9		N.M.	3,716	1,025,671	824,982	200,690		0	0
Jul-16	5,655				N.M.	5,655	1,158,823	843,257	315,567		0	0
Aug-16	4,334	61,8		24	N.M.	4,334	1,047,141	805,309	241,832		0	0
Sep-16	5,221	65,1		15	N.M.	5,221	1,084,992	803,048	281,945		0	0
Oct-16	4,600	64,1		29	N.M.	4,600	1,090,670	833,982	256,688		0	0
Nov-16	4,767				N.M.	4,767	1,086,599	829,158	257,442		0	0
Dec-16	3,229	63,1	31		N.M.	3,229	1,045,048	864,862	180,185		0	0
Jan-17	4,791	61,6		12	N.M.	4,791	1,137,423	870,069	267,354		0	0
Feb-17	4,525				N.M.	4,525	968,050	739,996	228,054		0	0
Mar-17	5,366				N.M.	5,366	1,089,339	789,901	299,438		0	0
Apr-17	4,068	65,3		20	N.M.	4,068	959,151	739,454	219,697		0	0
May-17	5,107	66,5		26	N.M.	5,107	1,171,894	886,951	284,943		0	0
Jun-17	5,531	66,1		5	N.M.	5,531	1,135,118	836,435	298,683		0	0
Jul-17	2,664				N.M.	2,664	1,004,026	855,398	148,628		0	0
Aug-17	64				N.M.	64	818,218	814,655	3,563		0	0
Sep-17	4,045		29,5		N.M.	4,045	1,059,079	840,648	218,431		0	0
Oct-17	4,664			27	N.M.	4,664	1,113,444	853,172	260,272		0	0
Nov-17	5,296	63,5			N.M.	5,296	1,107,261	821,289	285,972		0	0
Dec-17	4,784				N.M.	4,784	1,071,520	804,562	266,958		0	0
Jan-18	2,716				N.M.	2,716	810,716	621,708	189,008		0	0
Feb-18	4,586				N.M.	4,586	737,572	440,427	297,145		0	0
Mar-18	1,640	62,6	25,3	341	N.M.	1,640	679,374	561,303	118,071		0	0
Apr-18	2,491				N.M.	2,491	745,951	572,564	173,387		0	0
May-18	4,223				N.M.	4,223	802,370	498,295	304,075		0	0

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim		Não	X
Se Sim, qual é a origem?				
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)				
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)	47%			
<b>Digestores</b>	3 un.			
Volume (m <sup>3</sup> )	12000			
Área (m <sup>2</sup> )	1079			
Altura total (m)	15.9			
Altura útil (m)	12.0			
Temperatura a que é realizada a DA	35.2			
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira	X	Outro	
Número de estágios	1			
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua		Descontínua	X
Sistema de agitação usado no processo da DA	Agitação mecânica			

ETAR de 5

mês - ano	Q lamas primárias (m³/mês)	Q lamas secundárias (m³/mês)	Pré-tratamento			Lamas Mistas									
			Q lamas pré-tratadas (m³/d)	Q lamas espessadas (m³/d)	Q lamas estabilizadas (m³/d)	Q volúmico (m³/mês)	Q mássico (kg/mês)	Teor de sólidos totais (ST) (g/L)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST) (g/L)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia (m³/mês)	
Jan-15	7275	20608				2317	86228	37					26	6.4	1422
Feb-15	6818	8654				2007	73153	36					27	6.3	1525
Mar-15	6338	14398				2647	81698	31					24	6.3	1746
Apr-15	6396	11593				2044	71012	35					26	6.3	1738
May-15	6224	12531				2238	70579	32					23	6.3	2148
Jun-15	6640	7259				1885	59218	31					22	5.9	1589
Jul-15	7927	10056				2349	70906	30					23	6.1	2259
Aug-15	7106	10479				2434	68276	28					20	6.1	2247
Sep-15	7010	10412				2284	73590	32					22	6.1	2325
Oct-15	8041	7783				2056	63474	31					20	6.2	1933
Nov-15	8070	12304				1662	58766	35					26	6.2	1820
Dec-15	8241	12756				1708	68261	40					28	6.2	1681
Jan-16	8076	15542				1850	69448	38					28	6.2	1676
Feb-16	7597	13905				2304	69493	30					23	6.3	2289
Mar-16	8098	14534				2356	66315	28					21	6.3	2346
Apr-16	7800	12969				1988	55232	28					21	6.4	1921
May-16	8106	16939				2782	72253	26					20	6.1	2193
Jun-16	7660	13993				2771	76209	28					21	5.9	2223
Jul-16	7599	9415				2472	61606	25					19	5.7	2208
Aug-16	7551	9668				2676	73625	28					19	5.6	2407
Sep-16	7790	9925				2695	65912	24					19	5.6	2457
Oct-16	7957	11768				3336	86441	26					19	5.7	2390
Nov-16	6599	12785				2871	76605	27					20	5.9	2325
Dec-16	6596	12300				2316	72946	32					25	6	2015
Jan-17	6497	14809				2671	89487	34					27	6.2	1424
Feb-17	5875	14019				2513	75379	30					23	6.6	1360
Mar-17	7624	14730				3157	93140	30					23	6.5	1686
Apr-17	8672	12855				3994	97459	24					19	6.4	1164
May-17	7936	10299				3272	90246	28					22	6.1	1338
Jun-17	7812	12540				3565	92146	26					20	5.9	1475
Jul-17	7793	11697				3299	89734	27					21	5.8	1491
Aug-17	8581	12139				2752	78289	28					22	5.8	1764
Sep-17	7693	13327				2553	79381	31					24	5.7	2053
Oct-17	7979	13386				2535	80996	32					24	5.8	2440
Nov-17	7616	14892				2575	87019	34					26	5.9	2346
Dec-17	7802	15399				2271	89472	39					31	6.2	2495
Jan-18		16587				2717	103353	38					30	6.2	1705
Feb-18		14856				2453	106591	43					34	6.3	1344
Mar-18		18766				1818	81825	45					32	6.5	1778
Apr-18	2927	14183				3025	104850	35					27	6.2	2046
May-18	7798	18082				3261	109263	34					26	6	2198

mês - ano	Q (m <sup>3</sup> /mês)	Lamas digeridas			Destino final das lamas				
		Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (m <sup>3</sup> /mês)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - valorização agrícola (m <sup>3</sup> /d)	Parqueamento temporário R13 - Compostagem (ton/mês MO)
Jan-15	1422	-	110		1240				199
Feb-15	1525	3988	107		1249				186
Mar-15	1746	3658	118		1608				175
Apr-15	1738	3750	136		1437				192
May-15	2148	4083	139		1800				126
Jun-15	1589	3900	119		1218				185
Jul-15	2259	3215	103		1711				192
Aug-15	2247	3375	113		1803				185
Sep-15	2325	2450	98		1829				191
Oct-15	1933	3825	120		1869				194
Nov-15	1820	2469	120		1704				168
Dec-15	1681	4000	134		1601				164
Jan-16	1676	4613	140		1589				171
Feb-16	2289	4043	167		2471				241
Mar-16	2346	3381	118		2746				187
Apr-16	1921	2838	109		2322				180
May-16	2193	2638	118		2796				182
Jun-16	2223	3169	124		2382				222
Jul-16	2208	3494	131		2199				209
Aug-16	2407	3319	112		2170				171
Sep-16	2457	3094	112		2301				160
Oct-16	2390	4344	118		2141				206
Nov-16	2325	4288	125		2711				189
Dec-16	2015	4600	154		2022				143
Jan-17	1424	4925	173		1391				265
Feb-17	1360	4938	191		1535				174
Mar-17	1686	5030	162		2650				277
Apr-17	1164	4821	133		1425				282
May-17	1338	4856	134		2350				239
Jun-17	1475	4867	139		1839				277
Jul-17	1491	4938	137		1342				193
Aug-17	1764	4994	160		1700				208
Sep-17	2053	5333	131		1863				204
Oct-17	2440	5829	121		2181				227
Nov-17	2346	5844	144		2583				274
Dec-17	2495	5525	148		2421				208
Jan-18	1705	5078	160		1500				257
Feb-18	1344	5956	188		1188				181
Mar-18	1778	6356	190		1807				177
Apr-18	2046	5250	170		1796				259
May-18	2198	5338	183		2234				251

Avaliação do potencial de optimização energética da digestão anaeróbia de lamas de ETAR

mês - ano	Biogás						Energia					Biogás usado noutro tipo de valorização (kWh/mês)
	Q (m <sup>3</sup> /mês)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	
Jan-15	29870	68			2		149023	125838	23185			
Feb-15	22245						137574	108619	28955			
Mar-15	22140						157498	123200	34298			
Apr-15	21736						152479	111268	41211			
May-15	22086						161206	144104	17102			
Jun-15	15842						156331	124038	32293			
Jul-15	17906	63.35	23.95	<1			156108	123978	32130			
Aug-15	16501						149931	109919	40012			
Sep-15	19780						151702	106032	45670			
Oct-15	19681						154838	109928	44910			
Nov-15	21057						139443	95443	44000			
Dec-15	24360						141958	87675	54283			
Jan-16	20251						149807	110676	39131			
Feb-16	24109	68	29	16			141428	99580	41848			
Mar-16	24440						156476	118747	37729			
Apr-16	21413						156694	126715	29979			
May-16	23894						167989	133084	34905			
Jun-16	25670						150217	101007	49210			
Jul-16	19591						154104	108665	45439			
Aug-16	18019						146054	102459	43595			
Sep-16	18049	67,5	22,75	<1			145025	100578	44447			
Oct-16	17164						151893	115198	36695			
Nov-16	16378						146184	123828	22356			
Dec-16	17679						158455	139890	18565			
Jan-17	10593						159358	157214	2144	Durante 6 dias, não consecutivos, utilizou-se propano para alimentação da caldeira.		
Feb-17	8652						146470	143049	3421			
Mar-17	12534	69,7	25	10			169670	160054	9616			
Apr-17	8981						161547	154392	7155			
May-17	11802						164105	149428	14677			
Jun-17	12941						165941	143393	22548			
Jul-17	13972	66	27,5	6			164397	139654	24743			
Aug-17	27048						156159	117639	38520			
Sep-17	21863						153520	106496	47024			
Oct-17	26765						163695	103937	59758			
Nov-17	23717						158050	112785	45265			
Dec-17	22388						166641	122940	43701			
Jan-18	12778						172574	152706	19868			
Feb-18	13616						152114	129641	22473			
Mar-18	14937						153886	130586	23300			
Apr-18	16672						167466	137492	29974			
May-18	23802						177786	129996	47790			

<b>Pergunta</b>	<b>Resposta</b>
Tipo(s) de pré-tratamento do biogás	
Tipo(s) de equipamento de co-geração	cogrador

<b>Perguntas</b>	<b>Respostas</b>			
<b>Substratos</b>				
Recebem resíduos de outra origem para DA?*	Sim	<input checked="" type="checkbox"/>	Não	<input type="checkbox"/>
Se Sim, qual é a origem?	Efluentes de queijarias provenientes: - queijarias de Nisa (de maio a Setembro 2016) - Fossa Séptica da Zona Industrial de Vila Velha de Ródão - da gestão do Município de VVR (caracter temporário de Agosto 2016 a novembro 2017)			
Se Sim, qual é a quantidade? (m <sup>3</sup> /d ou kg/d)	Queijarias de Nisa: 12 m <sup>3</sup> /dia Fossa Séptica da Zona Industrial de Vila Velha de Ródão: 11 m <sup>3</sup> /dia			
<b>DA</b>				
Grau de eficiência conseguido na DA. (% de redução de SSV)	58%			
<b>Digestores</b>				
Volume (m <sup>3</sup> )	1200			
Área (m <sup>2</sup> )				
Altura total (m)	12.8			
Altura útil (m)	11.4			
Temperatura a que é realizada a DA	35 °C			
Sistema de aquecimento usado no processo*	Caldeira	<input checked="" type="checkbox"/>	Outro	<input checked="" type="checkbox"/>
Número de estágios	1			
Tipo de alimentação realizada no processo *	Contínua	<input type="checkbox"/>	Descontínua	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema de agitação usado no processo da DA	mecânico			

ETAR de 6

mês - ano				<i>Pré-tratamento</i>					<i>Lamas Mistas</i>					
	Q lamas primárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas secundárias (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas pré-tratadas (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas espessadas - (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas estabilizadas - (m <sup>3</sup> /d)	Q volúmico (m <sup>3</sup> /d)	Q mássico (kg/d)	Teor de sólidos totais (ST) (%)	Teor de sólidos suspensos totais (SST) (%ST)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Teor de sólidos totais voláteis (STV) - (%ST)	pH	Q lamas enviado para Digestão Anaeróbia - (m <sup>3</sup> /d)
Jan-15				1644.8				4.7225				2.895	6.1	1644.8
Feb-15				994				5.81				4.215	6.1	994
Mar-15				1090				5.624				4.212	6.1	1090
Apr-15				1398				4.3225				3.4	5.9	1398
May-15				1550				6.6025				5.795	5.9	1550
Jun-15				4834.4				2.805				2.0575	5.8	4834.4
Jul-15				4240.4				2.685				1.97	5.7	4240.4
Aug-15				6815.2				2.0225				1.5	6.1	6815.2
Sep-15				4565.6				2.855				2.0525	5.6	4565.6
Oct-15				2789.6				5.315				3.725	5.8	2789.6
Nov-15				1952.8				5.2425				3.4	6	1952.8
Dec-15				1990.4				4.738				3.462	5.9	1990.4
Jan-16				3222.4				3.725				2.7825	5.8	3222.4
Feb-16				3462.4				3.03				2.3325	6.2	3462.4
Mar-16				2933.2				4.07				2.96	6	2933.2
Apr-16				2603.2				4.65				3.465	6	2603.2
May-16				2778.8				4.036				2.906	6	2778.8
Jun-16				2787.2				3.73				2.9775	5.8	2787.2
Jul-16				4335.2				2.8275				2.13	5.5	4335.2
Aug-16				5205.2				2.954				2.188	5.5	5205.2
Sep-16				4176				2.8975				1.995	5.6	4176
Oct-16				3026.8				2.964				1.928	5.8	3026.8
Nov-16				1729.2				4.21				2.68	6.1	1729.2
Dec-16				1686.8				5.255				3.66	6	1686.8
Jan-17				1716.4				4.09				3.108	6.3	1716.4
Feb-17				2183.6				5.5375				3.7875	6.3	2183.6
Mar-17				2100.4				6.815				5.2325	6	2100.4
Apr-17				1736				5.7525				4.445	5.9	1736
May-17				2310.8				4.772				3.44	5.8	2310.8
Jun-17				3180.4				4.61				3.7475	5.3	3180.4
Jul-17				6370.8				3.49				2.72	5.6	6370.8
Aug-17				7874				3.432				2.73	5.6	7874
Sep-17				5060				2.38				1.775	5.7	5060
Oct-17				4336.8				2.89				2.124	5.8	4336.8
Nov-17				3236				3.265				2.1825	6.3	3236
Dec-17				2368.8				2.8125				1.81	6.4	2368.8
Jan-18				1894.8				3.595				2.6775	6.3	1894.8
Feb-18				1863.6				5.065				3.83	6.4	1863.6
Mar-18				1106.4				6.905				4.8225	6.2	1106.4
Apr-18				1584.4				5.2725				4.13	5.8	1584.4
May-18				1854				4.3375				3.4975	5.7	1854

mês - ano	<i>Lamas digeridas</i>				<i>Destino final das lamas</i>			
	Q (m <sup>3</sup> /d)	Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Ácidos Orgânicos Voláteis (AOV) (mg/L)	Q de recirculado (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas desidratadas (t)	Q lamas - incineração (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - aterro sanitário (m <sup>3</sup> /d)	Q lamas - valorização agrícola (m <sup>3</sup> /d)
Jan-15	1755							
Feb-15	1872							
Mar-15	1183							
Apr-15	1273							
May-15	1372							
Jun-15	1775							
Jul-15	3442							
Aug-15	3606							
Sep-15	6256							
Oct-15	4244							
Nov-15	2199							
Dec-15	1804							
Jan-16	2621				120.28			
Feb-16	3179				181.58			
Mar-16	2431				122.02			
Apr-16	2121				120.28			
May-16	2830				175.62			
Jun-16	2639				114.77			
Jul-16	3543				202.83			
Aug-16	4921				296.24			
Sep-16	3614				220.74			
Oct-16	2465				141.18			
Nov-16	2006				113.68			
Dec-16	1187				53.22			
Jan-17	1895				110.7			
Feb-17	1699				57.6			
Mar-17	1488				85			
Apr-17	2917				110.2			
May-17	1488				79.6			
Jun-17	2134				199.8			
Jul-17	4036				248.9			
Aug-17	6607				405.3			
Sep-17	3726				258.4			
Oct-17	3762				235.2			
Nov-17	2272				134.5			
Dec-17	2608				139			
Jan-18	1948				116.2			
Feb-18	1917				87.6			
Mar-18	1141				55.4			
Apr-18	1452				53.3			
May-18	1182				60.6			

mês - ano	Biogás						Energia					Biogás usado nouro tipo de valorização(kWh/mês)
	Q (m <sup>3</sup> /d)	CH <sub>4</sub> no biogás (%)	CO <sub>2</sub> no biogás (%)	H <sub>2</sub> S no biogás (ppm)	H <sub>2</sub> O no biogás (%)	Volume de biogás pré-tratado (m <sup>3</sup> /d)	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)	Energia eléctrica comprada à EDP (kWh/mês)	Energia eléctrica produzida pelo biogás (kWh/mês)	Consumo de gás natural ou outro combustível (m <sup>3</sup> /mês)	Energia térmica produzida (kWh/mês)	
Jan-15	435.7						71318	52257.3	19060.7			
Feb-15	418.6						52462	36253.4	16208.6			
Mar-15	419.7						74593	60874.5	13718.5			
Apr-15	517.9						91263	73045.2	18217.8			
May-15	493.7						125556	112512.6	13043.4			
Jun-15	537.3						141777	132300.9	9476.1			
Jul-15	571.7						147798	138403.0	9395.0			
Aug-15	893.8	68.0	30.7	1875.0			156880	139907.1	16972.9			
Sep-15	890.1	67.5	31.1	3476.0			132548	114159.4	18388.6			
Oct-15	599.6						86705	68106.7	18598.3			
Nov-15	429.4						75364	61844.4	13519.6			
Dec-15	461.5						72594	58400.1	14193.9			
Jan-16	513.1						74243	60297.9	13945.1			
Feb-16	465.9						61852	50196.9	11655.1			
Mar-16	618.8						81053	68357.1	12695.9			
Apr-16	676.6						76503	61860.3	14642.7			
May-16	715.9						89884	75419.7	14464.3			
Jun-16	778.3						96933	83263.8	13669.2			
Jul-16	980.9						133061	120235.9	12825.1			
Aug-16	1008.9						134822	123102.8	11719.2			
Sep-16	939.9						134011	123186.3	10824.7			
Oct-16	697.7						139460	126746.5	12713.5			
Nov-16	408.4						95864	85927.0	9937.0			
Dec-16	337.2						83308	76498.2	6809.8			
Jan-17	405.2						88594	75477.7	13116.3			
Feb-17	380.6						65849	56111.0	9738.0			
Mar-17	368.3						81258	72156.3	9101.7			
Apr-17	46.6						98332	97870.4	461.6			
May-17	0.0						81238	81238.0	0.0			
Jun-17	0.0						88736	88736.0	0.0			
Jul-17	0.0						146885	146885.0	0.0			
Aug-17	0.0						167016	167016.0	0.0			
Sep-17	0.0						137078	137078.0	0.0			
Oct-17	369.8						123373	123373.0	0.0			
Nov-17	438.8						105944	96505.0	9439.0			
Dec-17	374.4						90992	82838.0	8154.0			
Jan-18	385.0	63.1	41.5	1955.5			78849	69134.0	9715.0			
Feb-18	337.3	63.3	42.3	1135.0			82633	82633.0	0.0			
Mar-18	379.2	62.6	41.9	113.0			90155	90155.0	0.0			
Apr-18	529.1	63.3	40.8	264.0			83735	83735.0	0.0			
May-18	609.3	63.2	40.5	644.9			86170	83000.0	3170.0			

Temperatura a que é realizada a DA	28(4.3)
------------------------------------	---------

## Anexo V - Exemplo dos cálculos realizados aos dados obtidos das ETAR

### Lamas mistas

	Q lamas mistas (m3/d)	ST (%) afluente	Q massico lamas mistas (kg/d)	STV lamas mistas(% ST)	STV (kg/m3)	Carga STV afluente (kg/d)	Carga de STV destruídos (prod. de biogas (kg/d))	Carga STV lamas digeridas (kg/d)	STV nas lamas digeridas (kg/m3)	Eficiência de remoção STV (%)	TRH (d)	TRS(d)	TRS com recirculação 100%
Jan-15		2.7		85.0									
Feb-15		3.4		85.3									
Mar-15		3.8		82.2									
Apr-15		2.9		82.8									
May-15		2.6		86.4									
Jun-15		2.7		83.7									
Jul-15		2.5		82.2									
Aug-15		2.8		78.4									
Sep-15		2.3		86.2									
Oct-15		3.0		78.2									
Nov-15	341	2.3	7,899.6	84.6	19.6	6,685.3		6,685.3	17.4		14.5	12.8	6.8
Dec-15	331	2.6	8,636.1	78.7	20.6	6,799.7		6,799.7	17.7		14.9	12.9	6.9
Jan-16	326	2.1	6,911.2	72.3	15.3	4,996.0	2,985.7	2,010.3	5.7	59.8	15.2	14.1	7.3
Feb-16	319	2.6	8,172.6	83.6	21.4	6,831.8	3,625.0	3,206.8	8.3	53.1	15.5	12.9	7.0
Mar-16	342	2.9	9,922.5	82.8	24.0	8,211.7	3,674.6	4,537.2	11.3	44.7	14.4	12.3	6.6
Apr-16	342	3.1	10,591.7	81.5	25.3	8,627.1	1,644.0	6,983.1	18.7	19.1	14.5	13.2	6.9
May-16	314	2.9	9,097.4	83.6	24.3	7,607.3	2,265.1	5,342.2	14.8	29.8	15.7	13.7	7.3
Jun-16	269	2.7	7,125.4	84.9	22.5	6,049.8	2,394.7	3,655.2	12.3	39.6	18.4	16.6	8.7
Jul-16	352	2.3	7,977.4	78.3	17.8	6,244.7	2,251.7	3,993.0	9.7	36.1	14.0	12.0	6.5
Aug-16	309	2.4	7,472.1	81.0	19.6	6,051.8	2,194.6	3,857.2	11.3	36.3	16.0	14.5	7.6
Sep-16	305	2.6	7,942.0	78.8	20.5	6,262.0	2,195.6	4,066.4	12.3	35.1	16.2	15.0	7.8
Oct-16	354	2.8	9,768.7	78.3	21.6	7,645.0	2,357.8	5,287.2	14.2	30.8	14.0	13.3	6.8
Nov-16	333	3.0	9,829.5	78.0	23.0	7,663.7	1,283.8	6,379.9	15.0	16.8	14.8	11.7	6.5
Dec-16	318	2.8	8,975.8	77.9	22.0	6,990.0	172.6	6,817.4	17.5	2.5	15.5	12.6	7.0
Jan-17	329	2.5	8,365.3	81.1	20.6	6,784.5	-	6,784.5	16.8	-	15.0	12.2	6.7
Feb-17	357	3.5	12,406.1	80.6	28.0	9,996.3	1,569.3	8,427.0	22.4	15.7	13.8	13.1	6.7
Mar-17	314	2.8	8,802.9	80.4	22.5	7,073.7	1,656.1	5,417.6	15.2	23.4	15.7	13.8	7.4
Apr-17	352	2.8	9,768.2	79.3	22.0	7,744.2	1,470.0	6,274.1	15.9	19.0	14.0	12.5	6.6
May-17	373	2.9	10,897.3	79.5	23.2	8,658.1	1,293.5	7,364.6	17.5	14.9	13.2	11.7	6.2
Jun-17	167	2.9	4,771.5	78.9	22.5	3,767.0	851.5	2,915.5	7.1	22.6	29.5	12.0	8.5
Jul-17	146	2.8	4,029.6	81.2	22.4	3,270.4	2,121.1	1,149.2	2.8	64.9	33.8	12.0	8.8
Aug-17	222	2.5	5,538.4	82.7	20.7	4,578.4	1,391.6	3,186.8	8.4	30.4	22.3	13.1	8.2
Sep-17	345	2.7	9,236.4	80.4	21.5	7,423.6	1,618.2	5,805.4	14.9	21.8	14.3	12.7	6.7
Oct-17	335	2.3	7,577.4	78.8	17.8	5,968.1	2,267.0	3,701.0	10.0	38.0	14.7	13.3	7.0
Nov-17	353	2.8	9,878.2	77.7	21.8	7,673.2	234.6	7,438.6	19.1	3.1	14.0	12.7	6.7
Dec-17	352	2.7	9,498.9	82.4	22.3	7,827.8	1,346.0	6,481.8	16.5	17.2	14.0	12.6	6.6
Jan-18	276	3.2	8,761.5	83.6	26.6	7,328.8	2,080.2	5,248.6	18.1	28.4	17.9	17.0	8.7
Feb-18	403	2.0	8,153.9	80.2	16.3	6,543.3	-	6,543.3	15.5	-	12.3	11.7	6.0
Mar-18	331	2.7	8,796.2	78.0	20.8	6,861.7	2,082.3	4,779.5	12.6	30.3	14.9	13.0	7.0
Apr-18	300	3.1	9,418.0	79.0	24.8	7,438.4	2,214.7	5,223.7	15.0	29.8	16.5	14.2	7.6
May-18	356	3.1	10,934.4	78.9	24.3	8,623.1	1,749.4	6,873.7	17.0	20.3	13.9	12.2	6.5
media	318.2	2.8	8617.9	80.9	22.2494628	6,910.5	1,758.3	5,265.7	13.9	28.0	16.2	13.1	7.2

*Cálculo relativo os ST, SV oriundos da co-digestão das lamas com outros substratos (FORSU), produção de biogás e energia*

	Q de lamas mistas (m3/d)	ST admitido espessamento 2x (%)	Q lamas mistas espessadas 2X (m3/d)	Q substrato (m3/d)	Q total massico (kg/d)	Q massico de lamas mistas (Kg/d)	Q massico de substrato (kg/d)	STV nas lamas mistas (kg/d)	STV no substrato (kg/d)	Racio Lamas/substrato (%)	Concentraçao ST (kg/m3)	Concetraçao de STV (kg/m3)	STV (kg/d)	Eficiencia (%)	STV destruidos (producao de biogas) (kg/m3)	Biogas (m3/d)	metano (m3/d)	PCI (kj/m3)	Energia (kWh/d)	kWh/m3	Energia produzida com eficiencia de cogeraçao da ETAR (kWh/d)	
Jan-15																						
Feb-15																						
Mar-15																						
Apr-15																						
May-15																						
Jun-15																						
Jul-15																						
Aug-15																						
Sep-15																						
Oct-15																						
Nov-15	341.1	4.6	170.5	170.5	39450.2	7899.6	31550.6	6685.3	28711.1	80.0	115.7	103.8	35396.4	38.0	13450.6	11208.9	6725.3	280221517.4	75659.8	6.8	22697.9	
Dec-15	320.9	5.2	165.4	165.4	39243.1	8636.1	30607.0	6799.7	27852.4	78.0	118.6	104.7	34652.1	38.0	13167.8	10973.2	6583.9	274329076.5	74068.9	6.8	22220.7	
Jan-16	326.0	4.2	163.0	163.0	37066.3	6911.2	30155.1	4996.0	27441.1	81.4	113.7	99.5	32437.1	38.0	12326.1	10271.7	6163.0	256793505.6	69334.2	6.8	20800.3	
Feb-16	319.2	5.1	159.6	159.6	37702.4	8172.6	29529.8	6831.8	26872.1	78.3	118.1	105.6	33705.9	38.0	12807.5	10672.9	6403.7	266823609.9	72042.1	6.8	21612.6	
Mar-16	342.2	5.8	171.1	171.1	41572.0	9922.5	31649.4	8211.7	28801.0	76.1	121.5	108.2	37012.7	38.0	14064.8	11720.7	7032.4	293017480.4	79114.7	6.8	23734.4	
Apr-16	341.7	6.2	170.8	170.8	42196.0	10591.7	31604.3	8627.1	28759.9	74.9	123.5	109.4	37387.0	38.0	14207.1	11839.2	7103.5	295980532.0	79914.7	6.8	23974.4	
May-16	313.7	5.8	156.9	156.9	38114.9	9097.4	29017.5	7607.3	26405.9	76.1	121.5	108.4	34013.2	38.0	12925.0	10770.9	6462.5	269271492.3	72703.3	6.8	21811.0	
Jun-16	268.9	5.3	134.4	134.4	31996.9	7125.4	24871.5	6049.8	22633.1	77.7	119.0	106.7	28682.9	38.0	10899.5	9082.9	5449.8	227073158.7	61309.8	6.8	18392.9	
Jul-16	351.8	4.5	175.9	175.9	40520.2	7977.4	32542.8	6244.7	29614.0	80.3	115.2	101.9	35858.7	38.0	13626.3	11355.2	6813.1	283881126.7	76647.9	6.8	22994.4	
Aug-16	308.8	4.8	154.4	154.4	36033.0	7472.1	28560.9	6051.8	25990.4	79.3	116.7	103.8	32042.2	38.0	12176.0	10146.7	6088.0	253667667.9	68490.3	6.8	20547.1	
Sep-16	305.5	5.2	152.7	152.7	36197.4	7942.0	28255.4	6262.0	25712.4	78.1	118.5	104.7	31974.4	38.0	12150.3	10125.2	6075.1	251394363.3	68345.2	6.8	20503.6	
Oct-16	353.9	5.5	177.0	177.0	42507.8	9768.7	32739.2	7645.0	29792.6	77.0	120.1	105.8	37437.7	38.0	14226.3	11855.3	7113.2	296381480.2	80023.0	6.8	24006.9	
Nov-16	333.2	5.9	166.6	166.6	40650.7	9829.5	30821.2	7663.7	28047.3	75.8	122.0	107.2	35711.0	38.0	13570.2	11308.5	6785.1	282712075.8	76332.3	6.8	22899.7	
Dec-16	317.7	5.7	158.9	158.9	38365.4	8975.8	29389.7	6990.0	26744.6	76.6	120.8	106.2	33734.6	38.0	12819.1	10682.6	6409.6	267065261.5	72107.6	6.8	21632.3	
Jan-17	329.3	5.1	164.7	164.7	38829.6	8365.3	30464.3	6784.5	27722.5	78.5	117.9	104.8	34507.0	38.0	13112.7	10927.2	6556.3	273180299.9	73758.7	6.8	22127.6	
Feb-17	357.0	7.0	178.5	178.5	45429.4	12406.1	33023.4	9996.3	30051.3	72.7	127.3	112.2	40047.5	38.0	15218.1	12681.7	7609.0	317042926.6	85601.6	6.8	25680.5	
Mar-17	314.4	5.6	157.2	157.2	37883.8	8802.9	29080.9	7073.7	26463.7	76.8	120.5	106.7	33537.4	38.0	12744.2	10620.2	6372.1	265504357.8	71686.2	6.8	21505.9	
Apr-17	352.0	5.6	176.0	176.0	42328.8	9768.2	32560.6	7744.2	29630.2	76.9	120.3	106.2	37374.3	38.0	14202.2	11835.2	7101.1	295880121.6	79887.6	6.8	23966.3	
May-17	373.2	5.8	186.6	186.6	45417.7	10897.3	34520.5	8658.1	31413.6	76.0	121.7	107.4	40071.7	38.0	15227.3	12689.4	7613.6	317234564.6	85653.3	6.8	25696.0	
Jun-17	167.4	5.7	83.7	83.7	20257.9	4771.5	15486.4	3767.0	14092.7	76.4	121.0	106.7	17859.6	38.0	6786.7	5655.5	3393.3	141388676.2	38174.9	6.8	11452.5	
Jul-17	146.0	5.5	73.0	73.0	17534.5	4029.6	13504.9	3270.4	12289.5	77.0	120.1	106.6	15559.8	38.0	5912.7	4927.3	2956.4	123182104.7	33259.2	6.8	9977.8	
Aug-17	221.5	5.0	110.8	110.8	26030.4	5538.4	20492.0	4578.4	18647.8	78.7	117.5	104.8	23226.2	38.0	8825.9	7354.9	4413.0	183873700.1	49645.9	6.8	14893.8	
Sep-17	345.3	5.4	172.6	172.6	41175.2	9236.4	31938.9	7423.6	29064.4	77.6	119.3	105.7	36488.0	38.0	13865.4	11554.5	6932.7	288863368.7	77931.1	6.8	23397.9	
Oct-17	355.3	4.5	167.6	167.6	38591.2	7577.4	31013.8	5968.1	28222.6	80.4	115.1	102.0	34190.6	38.0	12992.4	10827.0	6496.2	270675668.5	73082.4	6.8	21924.7	
Nov-17	352.8	5.6	176.4	176.4	42511.4	9878.2	32633.3	7673.2	29696.3	76.8	120.5	105.9	37369.5	38.0	14200.4	11833.7	7100.2	295841743.6	79877.3	6.8	23963.2	
Dec-17	351.8	5.4	175.9	175.9	42041.2	9498.9	32542.4	7827.8	29613.6	77.4	119.5	106.4	37411.3	38.0	14227.7	11856.4	7113.9	296410579.1	80030.9	6.8	24009.3	
Jan-18	275.5	6.4	137.8	137.8	34247.1	8761.5	25485.5	7328.8	23191.8	74.4	124.3	110.8	30520.7	38.0	11597.8	9664.9	5798.9	241621836.1	65237.9	6.8	19571.4	
Feb-18	402.7	4.1	201.3	201.3	45400.2	8153.9	37246.3	6543.3	33894.1	82.0	112.8	100.4	40437.4	38.0	15366.2	12805.2	7683.1	320129402.6	86434.9	6.8	25930.5	
Mar-18	330.7	5.3	165.3	165.3	39384.7	8796.2	30588.5	6861.7	27835.5	77.7	119.1	104.9	34697.2	38.0	13185.0	10987.5	6592.5	27468458.9	74165.3	6.8	22249.6	
Apr-18	299.9	6.3	150.0	150.0	37162.1	9418.0	27744.1	7438.4	25247.1	74.7	123.9	109.0	32885.5	38.0	12420.5	10350.4	6210.2	258760342.2	69865.3	6.8	20959.6	
May-18	355.6	6.2	177.8	177.8	43826.6	10934.4	32892.2	8623.1	29931.9	75.1	123.3	108.4	38555.0	38.0	14650.9	12209.1	7325.4	30522838.7	82411.2	6.8	24723.4	
Media	318.2	5.4	159.1	159.1	38053.8	8617.9	29435.9	6910.5	26786.7	77.4	119.6	106.0	33697.2	38.0	12804.9	10670.8	6402.5	266769368.1	72027.7	6.8	21608.3	

*Lamas digeridas*

	Q lamas mistas (m3/d)	Q digeridas (m3/d)	Q de lamas desidratadas (m3/d)	Q de lamas (Valorizacáo Agrícola) (ton/d)	R = Q de lamas desidratadas/Q de lamas digeridas (ton/m3)	R (kg/m3)	Y = Q de lamas desidratadas/Q de lamas mistas (ton/m3)	Y (kg/m3)
Jan-15			25.9	25.9				
Feb-15			23.8	23.8				
Mar-15			31.2	31.2				
Apr-15			31.4	31.4				
May-15			25.7	25.7				
Jun-15			32.1	32.1				
Jul-15			27.3	27.3				
Aug-15			22.4	22.4				
Sep-15			20.0	20.0				
Oct-15			24.1	24.1				
Nov-15	341.1	384.7	64.8	64.8	0.17	168.5	0.19	190.1
Dec-15	330.9	383.2	27.3	27.3	0.07	71.3	0.08	82.6
Jan-16	326.0	350.0	19.3	19.3	0.06	55.3	0.06	59.3
Feb-16	319.2	384.4	23.2	23.2	0.06	60.4	0.07	72.8
Mar-16	342.2	401.5	31.8	31.8	0.08	79.3	0.09	93.0
Apr-16	341.7	374.2	33.3	33.3	0.09	89.0	0.10	97.4
May-16	313.7	359.9	22.7	22.7	0.06	63.2	0.07	72.5
Jun-16	268.9	298.2	19.8	19.8	0.07	66.5	0.07	73.7
Jul-16	351.8	412.5	33.2	33.2	0.08	80.4	0.09	94.3
Aug-16	308.8	340.6	28.4	28.4	0.08	83.3	0.09	91.9
Sep-16	305.5	329.3	25.6	25.6	0.08	77.7	0.08	83.8
Oct-16	353.9	372.1	25.7	25.7	0.07	69.2	0.07	72.7
Nov-16	333.2	423.9	31.0	31.0	0.07	73.2	0.09	93.1
Dec-16	317.7	390.5	23.2	23.2	0.06	59.4	0.07	73.0
Jan-17	329.3	403.6	23.6	23.6	0.06	58.4	0.07	71.6
Feb-17	357.0	376.8	34.0	34.0	0.09	90.1	0.10	95.1
Mar-17	314.4	356.9	29.0	29.0	0.08	81.1	0.09	92.1
Apr-17	352.0	394.0	31.5	31.5	0.08	80.1	0.09	89.6
May-17	373.2	421.8	40.2	40.2	0.10	95.3	0.11	107.7
Jun-17	167.4	411.9	36.9	36.9	0.09	89.6	0.22	220.5
Jul-17	146.0	413.3	30.6	30.6	0.07	74.1	0.21	209.7
Aug-17	221.5	378.3	25.4	25.4	0.07	67.2	0.11	114.7
Sep-17	345.3	388.6	25.2	25.2	0.06	65.0	0.07	73.1
Oct-17	335.3	370.9	21.9	21.9	0.06	58.9	0.07	65.2
Nov-17	352.8	389.8	26.2	26.2	0.07	67.3	0.07	74.3
Dec-17	351.8	393.1	27.5	27.5	0.07	69.9	0.08	78.1
Jan-18	275.5	289.9	26.7	26.7	0.09	92.2	0.10	97.0
Feb-18	402.7	422.9	34.8	34.8	0.08	82.2	0.09	86.4
Mar-18	330.7	379.9	39.9	39.9	0.11	105.0	0.12	120.7
Apr-18	299.9	347.9	29.3	29.3	0.08	84.3	0.10	97.7
May-18	355.6	405.0	37.5	37.5	0.09	92.5	0.11	105.4
media	318.2	379.0	30.0	30.0	0.08	79.0	0.10	98.4

Biogás

	Q de biogás (m³/d)	Q lamas de mistas (m³/d)	Q de lamas mistas (kg/d)	Q de CH4 (m³/d)	CH4 (%)	R = biogás/lamas (m³/lamas)	Y biogás/lamas (m³/kg)	Energia EDP (kWh/mes)	Energia produzida pelo biogás (kwh/mes)	Energia produzida pelo biogás (kWh/d)	R = Energia produzida por biogás (kWh/m³)	Y = Energia produzida pelas lamas mistas (kWh/m³)	Y = Energia produzida pelas lamas (kWh/kg)	Redução de consumo de energia (%)	PCI (KJ/d)	Energia possível de ser produzida com base no PCI (kwh/d)	Eficiência da cogeração
Jan-15	2896			1937	66.9			238855	175.790	5.860	2.0			42.4	7240000	19548	30
Feb-15	4176			2827	67.7			260932	159.260	5.309	1.3			37.9	10440000	28188	19
Mar-15	4087			2738	67			284044	186.240	6.208	1.5			39.6	102175000	27587	23
Apr-15	2963			1973	66.6			246432	176.940	5.898	2.0			41.8	74075000	20000	29
May-15	3069			2075	67.6			268194	165.760	5.525	1.8			38.2	76725000	20716	27
Jun-15	3531			2360	66.85			228861	176.920	5.897	1.7			43.6	88275000	23834	25
Jul-15					65			336388	93.200	3.107				21.7			
Aug-15								302965	104.910	3.497				25.7			
Sep-15								305489	98.580	3.286				24.4			
Oct-15								321683	85.580	2.853				21.0			
Nov-15		341	7900		68.6			329730	77.150	2.572		7.5	0.3	19.0			
Dec-15		331	8636		65.7			277215	140.017	4.667		14.1	0.5	33.6			
Jan-16	2090	326	6911	1358	65	6.4	0.3	251949	152.256	5.075	2.4	15.6	0.7	37.7	52249828.41	14107	36
Feb-16	2538	319	8173	1662	65.5	7.9	0.3	237717	166.968	5.566	2.0	15.9	0.6	41.3	63457689.97	17128	32
Mar-16	2572	342	9923	1677	65.2	7.5	0.3	223840	187.384	6.246	2.2	16.3	0.6	45.6	64304735.76	17362	36
Apr-16	1151	342	10592	737	64	3.4	0.1	323425	81.133	2.704	5.4	18.3	0.6	20.1	28770567.38	7768	35
May-16	1586	314	9097	1031	65	5.1	0.2	302000	115.511	3.850	1.7	8.6	0.3	27.7	39640013.73	10703	36
Jun-16	1676	269	7125	1140	68	6.2	0.2	306894	118.176	3.939	2.3	14.3	0.5	27.8	41906382.98	11315	35
Jul-16	1576	352	7977			4.5	0.2	319295	114.824	3.827	2.5	11.2	0.5	26.4	39404255.32	10639	36
Aug-16	1536	309	7472			5.0	0.2	317292	111.916	3.731	2.5	12.4	0.5	26.1	38406314.34	10370	36
Sep-16	1537	305	7942			5.0	0.2	289176	108.355	3.612	2.4	12.2	0.5	27.3	38423758.87	10374	35
Oct-16	1650	354	9769			4.7	0.2	296553	120.237	4.008	2.2	10.2	0.4	28.8	41262008.24	11141	36
Nov-16	899	333	9829	617	68.7	2.7	0.1	347185	63.354	2.112	4.5	12.0	0.4	15.4	22466123.4	6066	35
Dec-16	121	318	8976	78	64.9	0.4	0.0	422982	8.803	293	17.5	6.6	0.2	2.0	3020884.008	816	36
Jan-17	1098	329	8365	0		3.3	0.1	391815	80.025	2.668	0.3	0.9	0.0	17.0	27462096.77	7415	36
Feb-17	1159	357	12406	719	62	3.2	0.1	307076	76.277	2.543	2.2	7.1	0.2	19.9	28982142.86	7825	32
Mar-17	1029	314	8803	664	64.5	3.3	0.1	332202	74.965	2.499	2.4	7.9	0.3	18.4	25725806.45	6946	36
Apr-17	905	352	9768	662	73.1	2.6	0.1	374164	63.807	2.127	2.3	6.0	0.2	14.6	22635833.33	6112	35
May-17	596	373	10897			1.6	0.1	400687	43.402	1.447	2.4	3.9	0.1	9.8	14900806.45	4023	36
Jun-17	1485	167	4771	1114	75	8.9	0.3	327780	104.679	3.489	2.4	20.8	0.7	24.2	37120000	10022	35
Jul-17	974	146	4030	713	73.2	6.7	0.2	344556	68.065	2.269	2.3	15.5	0.6	16.5	24352763.55	6575	35
Aug-17	1133	222	5538	843	74.4	5.1	0.2	312080	79.150	2.638	2.3	11.9	0.5	20.2	28318978.09	7646	35
Sep-17	1587	345	9236	1197	75.4	4.6	0.2	270758	107.308	3.577	2.3	10.4	0.4	28.4	39673190.99	10712	33
Oct-17	164	335	7577	118	72	0.5	0.0	374536	11.477	383	2.3	1.1	0.1	3.0	4106309.929	1109	35
Nov-17	942	353	9878			2.7	0.1	372349	63.710	2.124	2.3	6.0	0.2	14.6	23554457.63	6360	33
Dec-17	1456	352	9499			4.1	0.2	335486	101.746	3.392	2.3	9.6	0.4	23.3	36403525.27	9829	35
Jan-18	1458	276	8762			5.3	0.2	348276	105.246	3.508	2.4	12.7	0.4	23.2	36439841.31	9839	36
Feb-18	1550	403	8154			3.9	0.2	337007	94.445	3.148	2.0	7.8	0.4	21.9	38758035.71	10465	30
Mar-18	1225	331	8796	710	58	3.7	0.1	393905	61.310	2.044	1.7	6.2	0.2	13.5	30614516.13	8266	25
Apr-18	1429	300	9418	934	65.4	4.8	0.2	364578	85.337	2.845	2.0	9.5	0.3	19.0	35720000	9644	29
May-18	1508	356	10934	64		4.2	0.1	440549	90.800	3.027	2.0	8.5	0.3	17.1	37708064.52	10181	30
media	1696	318	8618	1152	67.5	4.4	0.2	318705	104903	3497	2.7	10.4	0.4	24.9	42394826.61	11447	33