



Universidade de Aveiro Departamento de Ordenamento do Território
Ano 2013

Luis Miguel Pinto

**Avaliação técnico-económica do
reaproveitamento de biogás de uma ETAR**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Maria Helena Gomes Almeida Nadas, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio, bem como a AGS, na pessoa do Eng.º Ana Sofia Dias pelo apoio e disponibilidade.

o júri

presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

vogais

Professor Doutor João Manuel da Costa e Araújo Pereira Coutinho

Professor Associado com Agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

Professor Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Agradecimentos

Foram várias as pessoas que me apoiaram, orientaram, estimularam e a quem quero expressar os meus mais sinceros agradecimentos.

A orientadora deste trabalho a Professora Doutora Helena Nadais, pela sua orientação e transmissão de conhecimentos.

A Eng.^a Ana Sofia Dias, da AGS, pela disponibilidade e apoio no decurso deste trabalho.

A minha família pelo amor e compreensão.

Um agradecimento final e especial aos meus avós pelos valores incutidos na minha educação.

palavras-chave

Digestão Anaeróbia, Biogás, Energia, Custos

resumo

No decurso deste trabalho serão descritas as atividades realizadas no trabalho de fim do Mestrado em Engenharia do Ambiente pela Universidade de Aveiro.

A utilização de fontes de energia renováveis adquire hoje em dia uma importância elevada no contexto de desenvolvimento sustentável das nossas sociedades e no consumo racional dos recursos finitos que o planeta nos disponibiliza.

No entanto é preciso avaliar se algumas apostas feitas têm o efeito desejável, ou seja, a produção de energia renovável numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, ou se pelo contrário se mostram investimentos onerosos sem possibilidade de retorno adequado e neste caso, o porquê de algumas opções não produzirem os resultados esperados.

O objeto deste trabalho e correspondente relatório é aferir se é vantajoso em termos técnicos e económicos a instalação de sistemas de cogeração para a produção de energia elétrica, reaproveitando o biogás produzido em sistemas de digestão anaeróbia de lamas, fazendo uma descrição exaustiva do processo de digestão de lamas e da sua gestão, dados os elevados custos de investimentos associados a estes sistemas e dadas as dificuldades processuais e operacionais da otimização e gestão da produção, utilizando como base de estudo a ETAR de Bragança no período decorrido entre 2008 a 2010.

Desta forma pretende-se contribuir para uma maior ponderação numa possível escolha de reaproveitamento de biogás em ETAR's de média dimensão dadas implicações inerentes as mesmas nomeadamente a nível de projeto, aspetos construtivos, custos de instalação e dificuldades operacionais.

Índice

1.	Introdução	1
2.	Processo de Digestão Anaeróbio	3
2.1	Introdução Histórica.....	3
2.2	Processo de Digestão Anaeróbia.....	4
2.2.1	Introdução à Digestão Anaeróbia.....	4
2.2.2	Principais Vantagens e Desvantagem do processo de Digestão Anaeróbia	5
2.2.3	Mecanismos da Digestão Anaeróbia.....	6
2.3	Requisitos do Processo de Digestão Anaeróbia	12
2.3.1	pH	13
2.3.2	Alcalinidade	14
2.3.3	Temperatura.....	16
2.3.4	Potencial Redox.....	16
2.3.5	Tempo de Retenção Hidráulico	17
2.3.6	Carga de Sólidos	17
2.3.7	Mistura	18
3.	Dados de Base da ETAR de Bragança	20
3.1	População	20
3.2	Caudal.....	20
3.3	Caracterização do Afluente	21
3.4	Meio Recetor	22
4.	Descrição e Funcionamento do Sistema de Tratamento	23
4.1	Descrição Geral do Sistema.....	23
4.2	Funcionamento do Sistema e Características dos Órgãos de Tratamento	27
5.	Controlo Analítico do Processo de Tratamento de Lamas	42
5.1	pH	42
5.2	Temperatura.....	43
5.3	Potencial Redox.....	44
5.4	Alcalinidade	44
5.5	Acidez Volátil	45
5.6	Sólidos Totais e Voláteis.....	46
6.	Sistema de Tratamento de Lamas	49

6.1	Descrição Geral	49
6.2	Digestor	51
6.3	Estação Elevatória de Lamas Aquecidas.....	53
6.4	Estação Elevatória de Mistura.....	53
6.5	Equipamento de Aquecimento e Recirculação de Água	54
6.6	Caldeira e Queimador	56
6.7	Circuito de Água Quente	57
6.8	Produção de Gás e Armazenamento.....	58
6.9	Cogerador.....	58
6.10	Purificação do Biogás	59
6.11	Tocha	59
7.	Operação de Digestores	60
7.1	Arranque do Digestor	60
7.1.1	Teste do Equipamento	61
7.1.2	Inoculo Microbiano	61
7.1.3	Alimentação do Digestor.....	62
7.1.4	Homogeneização.....	63
7.2	Monitorização Digestor.....	64
7.2.1	Produção de Biogás	66
7.2.2	Concentração e Atividade da Biomassa	66
7.2.3	Controlo de pH e Alcalinidade.....	67
7.2.4	Controlo de Ácidos	69
7.2.5	Controlo da Temperatura.....	70
7.3	Indicadores de Funcionamento do Reactor	71
7.3.1	Sobrecarga Orgânico/Choque Térmico	73
7.3.2	Sobrecarga Hidráulica	73
7.3.3	Inibidores.....	74
7.4	Estabilidade a Longo Prazo.....	74
7.4.1	Perda de Biomassa do Interior do Digestor	74
7.4.2	Perda de Atividade Específica	75
7.4.3	Distribuição do Afluente e Transferência de Matéria.....	75
8.	Análise Processual e Económica	76
8.1	Digestão.....	76

8.2	Necessidades de Aquecimento	77
8.3	Produção de Biogás	78
8.4	Produção de Energia	79
9.	Conclusões.....	81
	Bibliografia	83
	Anexos	84

Anexo I – Registo do Caudal Afluyente a ETAR

Anexo II – Esquemas e Diagramas de Processo

Anexo III – Plano de Controlo Analítico

Anexo IV – Registos de Monitorização e Controlo Processual

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquema das fases do processo de digestão anaeróbia.....	5
Figura 2 - Diagrama esquemático da conversão de sólidos voláteis em gases e lamas digeridas (adaptado de Malinas, 1992).	7
Figura 4 - Influência do pH na atividade de diferentes espécies metanogénicas.....	14
Figura 5 - Relação entre o pH, CO ₂ , e alcalinidade ao bicarbonato	15
Figura 6 - Comparação dos valores de caudal entre os dados de projeto e os dados de Processo.	21
Figura 7 - Diagrama linear da ETAR de Bragança.....	26
Figura 8 – Comparação dos valores de pH das lamas mistas e digeridas.	42
Figura 9 – Comparação dos valores de temperatura das lamas mistas e digeridas.	43
Figura 10 – Variação temporal da alcalinidade.....	45
Figura 11 – Variação temporal da concentração de acidez volátil.	46
Figura 12 – Variação temporal da concentração em sólidos nas lamas espessadas.	47
Figura 13 – Variação temporal da concentração em sólidos voláteis nas lamas espessadas.....	47
Figura 14 – Variação temporal da concentração em sólidos nas lamas digeridas.	48
Figura 15 – Variação temporal da concentração em sólidos voláteis nas lamas digeridas.	48
Figura 16 – Esquema de aquecimento dos digestores.	50
Figura 17 – Estratificação de um digestor anaeróbio.	51
Figura 18 – Esquema das interações entre as várias fases de um digestor.....	52
Figura 19 – Evolução temporal da quantidade de biogás no gasómetro.	78

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Ácidos voláteis frequentemente encontrados durante a digestão anaeróbia de lamas.	9
Tabela 2 – Classificação das bactérias metanogénicas.	10
Tabela 3 – Condições ambientais e de operação para a produção máxima de metano durante o processo de digestão anaeróbia de lamas.	13
Tabela 4 – População servida e estimativa de evolução da mesma.	20
Tabela 5 – Estimativa de caudais para a ETAR de Bragança.	20
Tabela 6 – Características médias do afluente à ETAR de Bragança e comparação com projeto.	22
Tabela 7 – Características geométricas e hidráulicas	28
Tabela 8 – Características decantadores primários	30
Tabela 9 – Características do tanque anóxico.	31
Tabela 10 – Características dos tanques de arejamento.	35
Tabela 11 – Características dos decantadores secundários.	36
Tabela 12 – Características dos espessadores.	37
Tabela 13 – Características dos digestores.	37
Tabela 14 – Características da desidratação.	38
Tabela 15 – Características da desodorização	39
Tabela 16 – Características do motogerador e gasómetro e tocha.	40
Tabela 17 – Comparação da produção de lamas para horizonte de projeto e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).	52
Tabela 18 – Características das lamas de alimentação ao digestor.	63
Tabela 19 – Características de operação do digestor	63
Tabela 20 – Proposta de plano de monitorização do digestor	64
Tabela 21 – Comparação da produção de lamas para horizonte de projeto e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).	76
Tabela 22 – Comparação de parâmetros analíticos para horizonte de projeto/bibliografia e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).	77
Tabela 23 – Comparação da produção de biogás para horizonte de projeto/bibliografia e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).	79

1. Introdução

No decurso do Mestrado em Engenharia do Ambiente (2.º ciclo) da Universidade de Aveiro, foram nos transmitidos conhecimentos na área do ambiente, focando diversas matérias de forma a preparar a nossa entrada no mundo laboral. Neste contexto surge inserido um estágio curricular como forma de demonstrar conhecimentos e preparação para o mundo laboral.

O trabalho foi realizado na AGS, Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade S.A, empresa operacional do Grupo Somague, integrado no Grupo Sacyr Vallehermoso, vocacionada para a gestão, operação e manutenção de infraestruturas de água e de águas residuais em regime de Concessão, Parcerias Público-Privadas ou de Prestação de Serviços.

Todas as atividades da AGS, incluindo todas as prestações de serviços, estão certificadas pelas normas de gestão da qualidade, ambiente e segurança NP EN ISO 9001:2008, NP EN ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007/NP 4327:2008, respetivamente.

A AGS é uma sociedade privada fundada em 1988, com capital social de 29.000.000,00 €, com atividade em Portugal e Brasil. É 100% detida pela Somague Ambiente, a qual é sub-holding do Grupo para a área do Ambiente.

A atividade na ETAR de Bragança (objeto deste estudo) teve início no ano de 2000, com a exploração, manutenção e conservação desta estrutura, para a entidade gestora município de Bragança, tendo sofrido obras de ampliação em 2005, data na qual foi integrada no sistema multimunicipal das Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, atual entidade gestora da mesma.

Este estágio teve como orientadora a Professora Doutora Helena Nadaís, docente na Universidade de Aveiro. A orientação na empresa ficou a cargo da Eng.ª Ana Sofia Dias, diretora da Direção de Engenharia e Operações da AGS.

O objeto deste estágio e correspondente relatório é aferir se é vantajoso em termos técnicos e económicos a instalação de sistemas de cogeração para a produção de energia elétrica, reaproveitando o biogás produzido em sistemas de digestão anaeróbia de lamas, dados os elevados custos de investimentos associados a estes sistemas e dadas as dificuldades processuais e operacionais da otimização e gestão da produção, utilizando como base de estudo a ETAR de Bragança no período decorrido entre 2008 a 2010.

Desta forma pretende-se contribuir para uma maior ponderação numa possível escolha de reaproveitamento de biogás em ETAR's de média dimensão dadas implicações inerentes as mesmas nomeadamente a nível de custos e de dificuldades operacionais.

Numa primeira análise, capítulos 2 e 3, faz-se uma descrição do processo de tratamento, assim como os dados de base do projeto da ETAR de Bragança.

No capítulo 4 é descrito o processo de digestão anaeróbia.

A comparação dos resultados entre o projetado e a realidade processual e operacional da ETAR nos últimos 3 anos é efetuada no capítulo 5, sendo também apresentados os resultados de monitorização de processo.

No capítulo 6 faz-se uma descrição do processo existente e a sua comparação com o projeto.

No capítulo 7 são deixadas medidas de forma a otimizar o processo e cuidados a ter no mesmo. Por fim é efetuada análise a produção de gás e a produção de energia e a sua comparação com o previsto.

2. Processo de Digestão Anaeróbio

2.1 Introdução Histórica

O objetivo da digestão anaeróbia de lamas provenientes das estações de tratamento de águas residuais é a sua transformação num composto inócuo de fácil desidratação. Neste processo, uma porção dos sólidos orgânicos é convertida microbiologicamente em metano e dióxido de carbono, reduzindo a quantidade de sólidos e o volume das lamas a depositar.

Há também uma redução substancial de microrganismos patogénicos durante o processo de digestão anaeróbia. O produto final é inócuo, estável e pode ser utilizado como corretor ou fertilizante para os solos.

A digestão anaeróbia não é um processo desenvolvido recentemente há pelo menos 100 anos em Vesoul, França, um senhor de nome Louis H. Mouras construiu um reator para fermentar lamas obtidas de efluente doméstico.

Abbe Moigno, em 1881, refere no *Cosmo les Monde* que a digestão anaeróbia de resíduos domésticos foi completada em cerca de 18 dias. Referir que este tempo de retenção é compatível com os valores hoje usados para a realização de projetos e operação de digestores anaeróbios.

Nos seus primeiros anos de utilização a digestão anaeróbia não era aquecida, nem eram usados misturadores. O procedimento de aquecer as lamas até 32°C, foi introduzido no início do século passado, sendo colocados tubos nas paredes dos digestores para se introduzir água quente, especialmente nos climas mais frios.

Nos digestores do início do século passado eram comuns longos tempos de retenção hidráulicos, as lamas eram armazenadas nos digestores 60 dias ou mais uma vez que não era viável a sua extração para leitos de secagem durante o período de inverno. Em muitas instalações os digestores eram usados para armazenar uma vasta gama de subprodutos das ETAR's, não sendo considerados reatores biológicos mas, fundamentalmente, tanques de armazenamento, diminuindo assim a eficiência de operação.

O aparecimento da digestão aeróbia e o preço da energia relativamente baixo na altura conjugados com a má operação dos sistemas de digestão anaeróbia levaram a uma perda de entusiasmo neste tipo de tratamento. No entanto, em algumas instalações onde os digestores foram operados como reatores biológicos, as lamas aquecidas e sistemas de mistura montados, foram conseguidos excelentes resultados. Um posterior aumento dos custos

energéticos, associado a um aumento da eficiência de aproveitamento do biogás voltou a estimular a construção e operação de sistemas de digestão anaeróbia, uma vez que as ETAR's passaram a dispor de uma fonte de energia barata que cobria as suas necessidades energéticas.

Sendo a digestão anaeróbia um tratamento de desbaste de carga orgânica, devido aos elevados tempos de retenção, tornou-se um método atrativo para o tratamento de águas residuais com elevadas cargas orgânicas, ou mesmo com alguma toxicidade, não facilmente degradados por processos aeróbios.

2.2 Processo de Digestão Anaeróbia

2.2.1 Introdução à Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico de degradação de matéria orgânica e redução de nutrientes que ocorre na ausência de oxigénio, usada para estabilizar a porção biodegradável de vários tipos de lamas resultantes do processo de tratamento de águas residuais.

Este processo reduz também os níveis de odor e bactérias patogénicas nas lamas de alimentação e produz uma lama estabilizada relativamente inerte. A estabilização tende a reduzir a quantidade de sólidos presentes nas lamas, no entanto, o total do volume de lamas mantém-se, a não ser que sejam removidos os sobrenadantes. Este processo oferece a opção de valorização económica podendo rentabilizar a produção de energia na forma de gás metano.

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico em várias etapas, capaz de estabilizar diferentes tipos de matéria orgânica. Ocorre em três etapas básicas: na primeira etapa, os compostos mais complexos e insolúveis em água (por exemplo: celulose, proteínas, hidratos de carbono e lípidios) são convertidos através de enzimas extracelulares (lipases, celulasas, proteases) em compostos solúveis mais simples como ácidos gordos voláteis, álcoois, dióxido de carbono, entre outros. Esta etapa denomina-se por Hidrólise. Na segunda etapa (Acidogénese), os microrganismos (muitas vezes referidos como bactérias acidogénicas ou formadores de ácidos) convertem os produtos da primeira fase em ácido acético e propiónico, hidrogénio, dióxido de carbono e outras moléculas de baixo peso molecular. São responsáveis por esta fase espécies como *Clostridium*, *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Lactobacillus*,

Streptococcus, entre outras. Na terceira etapa (Fermentação Alcalina) os produtos da segunda etapa, são convertidos por bactérias acetogénicas (*Acetobacterium*, *Acetogenium*, *Pelobacter*) em ácido acético, e depois por metanogénicas (*Methanosarcina*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*, *Methanotherix*) a metano e água (a partir de H_2 e CO_2) ou a metano e dióxido de carbono (a partir de acetato). Em muitos casos, são as bactérias metanogénicas que controlam o processo, porque são muito sensíveis aos fatores ambientais (temperatura, pH, tóxicos) e reproduzem-se muito lentamente. O controlo e projeto do digestor são baseados nas necessidades deste tipo de bactérias. Este processo encontra-se ilustrado de um modo sucinto na figura 1.

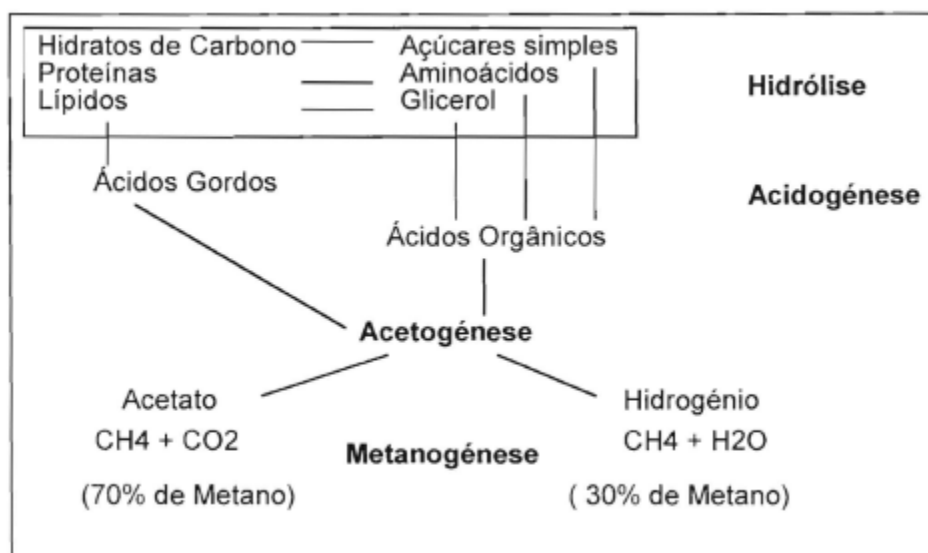


Figura 1 - Esquema das fases do processo de digestão anaeróbia (adaptado de Metcalf & Eddy, 1972)

2.2.2 Principais Vantagens e Desvantagem do processo de Digestão Anaeróbia

As principais vantagens da digestão anaeróbia, quando comparada com outros métodos de estabilização de lamas, são:

- Produção de gás metano, que pode ser usado como fonte de energia. As instalações onde o processo de digestão anaeróbia é utilizado dispõem de uma fonte de energia limpa que excede a necessária para a manutenção do processo (aquecimento e mistura). Os

excessos podem ser utilizados para produzir energia elétrica que pode ser utilizada noutros órgãos da ETAR;

- Redução de massa e volume das lamas através da conversão da matéria orgânica em sólidos voláteis e estes em metano, dióxido de carbono e água. A destruição de sólidos é de aproximadamente 25-45% das lamas que são introduzidas no digestor, resultando assim numa economia nos processos de desidratação;

- As lamas digeridas podem ser utilizadas como corretoras de solos, dado conterem azoto, fósforo e outros nutrientes, assim como matéria orgânica que pode melhorar a fertilidade e textura dos solos. O cheiro das lamas digeridas é reduzido;

- Os microrganismos patogénicos presentes nas lamas de alimentação tornam-se se inativos e são eliminados durante o processo de digestão anaeróbia.

As principais desvantagens da digestão anaeróbia são:

- Os custos de instalação e manutenção são elevados. Reatores de grandes dimensões com cobertura, bombas para alimentação e recirculação de lamas, permutadores de calor, são exemplos destes custos;

- Tempos de retenção hidráulicos longos (superiores a dez dias) são necessários para desenvolver e manter a população de bactérias produtoras de metano;

- A qualidade do sobrenadante da digestão anaeróbia de lamas é baixa. O sobrenadante contém sólidos suspensos, dissolvidos e material orgânico particulado (compostos consumidores de oxigénio), fósforo, azoto. A sua recirculação provoca maiores necessidades de oxigénio e aumenta a carga orgânica e de nutrientes no sistema.

2.2.3 Mecanismos da Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia das lamas provenientes de águas residuais é um processo controlado, onde existe uma degradação de sólidos voláteis e outros compostos orgânicos através do seu consumo por bactérias na ausência de oxigénio, obtendo-se como resultado gases,

principalmente metano, dióxido de carbono, com traços de hidrogénio e sulfeto de hidrogénio e ainda lamas estáveis e inócuas.

Um diagrama esquemático da conversão de sólidos voláteis em produtos estáveis e gases é apresentado na figura 2. Este esquema tem como base 100 kg de sólidos totais presentes em lamas mistas, deste 100 kg, 70% são sólidos voláteis e 30% são sólidos fixos (referir que nem todos os sólidos voláteis presentes nas lamas são degradáveis biologicamente).

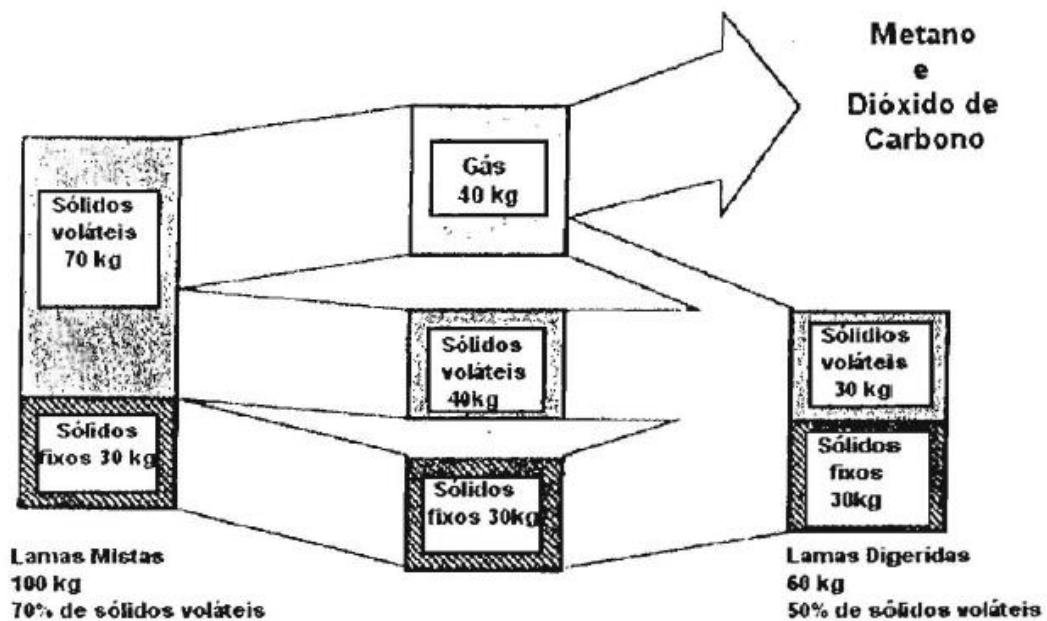


Figura 2 - Diagrama esquemático da conversão de sólidos voláteis em gases e lamas digeridas (adaptado de Malinas, 1992).

Cerca de 30 a 40% da massa volátil das lamas afluentes permanecerá por digerir. No esquema da figura 4, presume-se que as lamas digeridas são constituídas por 50% de sólidos voláteis, isto é, a quantidade de sólidos voláteis nas lamas digeridas é igual a quantidade de sólidos fixos (não digeridas).

O balanço de massa apresentado na figura é feito em base seca, ou seja, o conteúdo em água não é considerado tanto nas lamas mistas como digeridas, focando-se as transformações ao nível da fase sólida. A composição das lamas mistas alimentadas ao digestor anaeróbio é determinante na qualidade e quantidade dos produtos finais da digestão.

A estabilização microbiológica de lamas de águas residuais é um processo sequencial em que os sólidos voláteis (materiais orgânicos) são hidrolisados a compostos orgânicos solúveis, mais simples, por organismos facultativos. Estes compostos orgânicos solúveis são então

fermentados por bactérias facultativas produzindo ácidos voláteis, dióxido de carbono e algum hidrogénio gasoso.

Os ácidos voláteis são convertidos são finalmente convertidos em metano por bactérias anaeróbias metanogénicas. O mecanismo da digestão anaeróbia de lamas está representado na figura 3.

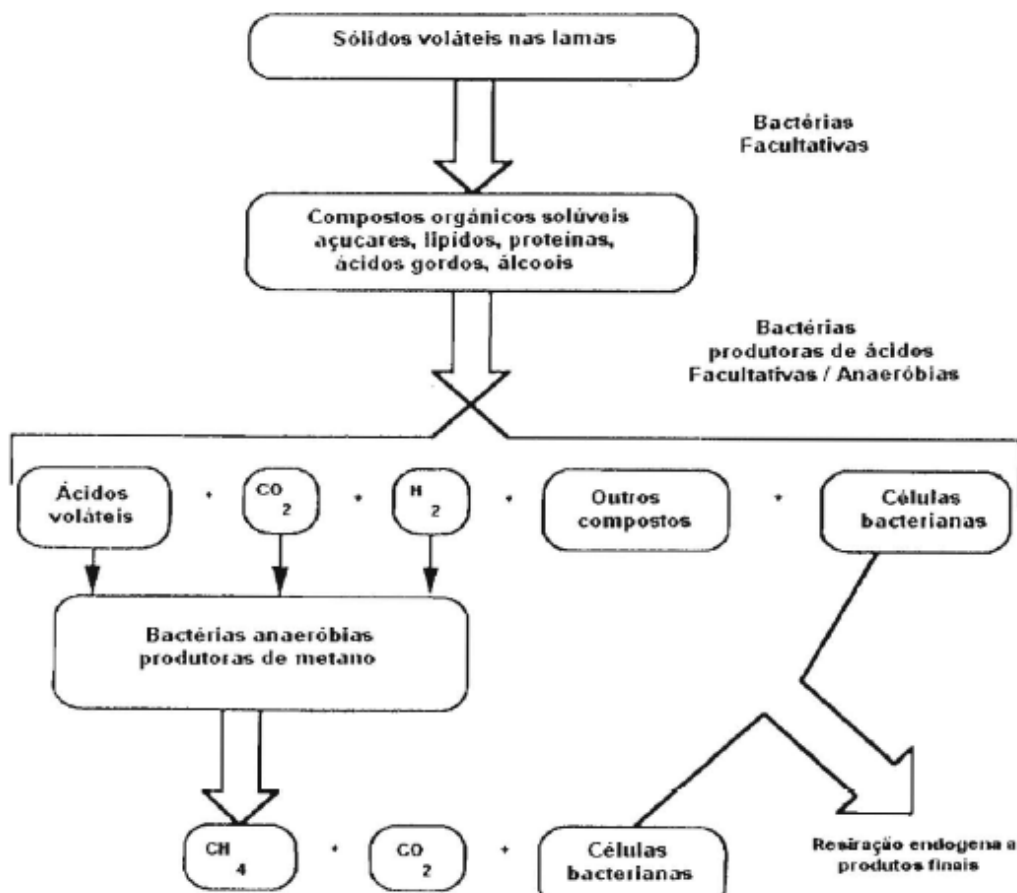


Figura 3 - Mecanismos da digestão anaeróbia de lamas (adaptado de Malinas, 1992).

As bactérias produtoras de ácidos são geralmente facultativas, no entanto, algumas são anaeróbias estritas, representando uma grande variedade de géneros microbiológicos. As bactérias produtoras de ácidos são relativamente tolerantes a mudanças de pH e temperatura e têm uma taxa de crescimento maior que as bactérias produtoras de metano.

Os organismos facultativos podem usar e até preferem, oxigénio molecular (oxigénio dissolvido) no seu metabolismo, por isso protegem as bactérias estritamente anaeróbias de pequenas quantidades de oxigénio que possam ser introduzidas nas lamas de alimentação.

O material particulado não consegue passar nas membranas celulares das bactérias.

Devido a este facto os sólidos orgânicos devem ser convertidos em substâncias dissolvidas por enzimas extracelulares, de que resultam a energia e nutrientes orgânicos e inorgânicos necessários para o crescimento e metabolismo da população bacteriológica.

Os sólidos voláteis são hidrolisados em compostos dissolvidos, principalmente açúcares, lipídios, proteínas, ácidos gordos e álcoois. As bactérias produtoras de ácidos convertem estes compostos orgânicos solúveis em ácidos voláteis e outros compostos orgânicos simples. Durante a fase de produção de ácidos não se registam mudanças significativas na quantidade de material orgânico no sistema, existindo uma redistribuição dos vários tipos de compostos orgânicos simples e a libertação de dióxido de carbono, hidrogénio e sulfeto de hidrogénio.

Os principais compostos intermediários produzidos durante a fase ácida são os ácidos voláteis, os quais são o substrato usado pelas bactérias formadoras de metano. O pH pode baixar se os ácidos voláteis se acumularem e a sua concentração aumentar até um nível onde as bactérias produtoras de metano são inibidas.

Os principais ácidos voláteis formados são o acético, propiónico e o butírico, no entanto, outros ácidos voláteis são encontrados em quantidades inferiores no processo de digestão anaeróbia, incluindo: ácido fórmico, valérico, isovalérico e capriónico.

As fórmulas químicas destes ácidos voláteis encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Ácidos voláteis frequentemente encontrados durante a digestão anaeróbia de lamas.

Nome Comum	Formula
Ácido Fórmico	HCOOH
Ácido Acético	CH ₃ COOH
Ácido Propiónico	CH ₃ CH ₂ COOH
Ácido Butírico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH
Ácido Valérico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ COOH
Ácido Isovalérico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH
Ácido Capriónico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ COOH

Adaptado de Malinas, 1992.

O mecanismo de digestão anaeróbia de lamas é sequencial, no entanto, a fermentação ácida e a formação metanogénica têm lugar simultaneamente e em sincronia.

Uma digestão anaeróbia eficiente requer a manutenção do balanço entre as taxas de formação de ácidos e a conversão dos ácidos voláteis em metano. A taxa de fermentação metanogénica controla a taxa de estabilização das lamas, com efeito se o pH baixar a valores inferiores a pH=6, as bactérias metanogénicas serão inibidas, levando a um aumento da quantidade de ácidos voláteis a acumular, no entanto, alcalinidade também é produzida durante o processo de degradação anaeróbia de sólidos, provendo o sistema de capacidade tampão.

As bactérias produtoras de metano (metanogénicas) são organismos anaeróbios estritos e produzem metano através da fermentação anaeróbia de compostos orgânicos simples, no entanto, cada espécie de bactéria metanogénica fermenta unicamente um grupo restrito de compostos orgânicos, sendo claro então que várias espécies de bactérias metanogénicas são necessárias para a estabilização anaeróbia da fração orgânica das lamas. Um resumo das bactérias formadoras de metano e o substrato utilizado por cada espécie é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das bactérias metanogénicas.

Bastonetes	Substratos
Não formadoras de esporos: <i>Methanobacterium</i>	
<i>Methanobacterium formicium</i> :	ácido fórmico, CO ₂ , H ₂
<i>Methanobacterium propionicum</i> :	ácido propiónico
<i>Methanobacterium sohngei</i> :	ácido acético, ácido butírico
Formadoras de esporos: <i>Methanobacillus</i>	
<i>Methanobacillus omelianskii</i> :	álcoois primários e secundários, H ₂
Esféricas	Substratos
<i>Methanococcus</i>	
<i>Methanococcus mazei</i> :	ácido acético, ácido butírico
<i>Methanococcus vannieli</i> :	ácido fórmico, H ₂
<i>Methanosarcina</i> :	
<i>Methanosarcina barkeri</i> :	metanol, ácido acético, CO, H ₂
<i>Methanosarcina methanica</i> :	ácido acético, ácido butírico

Adaptado de Malinas, 1992.

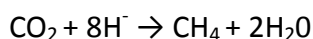
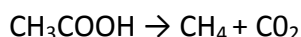
Um outro exemplo da especificidade do substrato utilizado pelas bactérias anaeróbias é o caso do ácido valérico, onde três espécies de bactérias metanogénicas são necessárias para a sua

fermentação completa. O ácido valérico é oxidado *Methanobacterium suboxydans* a ácido acético e propiónico. É interessante referir que a *Methanobacterium suboxydans* é especialista na oxidação de ácidos gordos com ligações de quatro carbono e seis carbono a acetato e propionato, não conseguindo decompor estas substâncias para uma outra forma mais simples.

O propionato é convertido pela *Methanobacterium propionicum* a acetato, dióxido de carbono e metano. Uma vez que a *Methanobacterium propionicum* não consegue utilizar o acetato, uma terceira espécie, *Methanococcus mazei*, é necessária para a fermentação do acetato a metano e dióxido carbono.

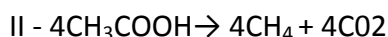
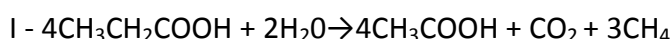
O principal composto orgânico utilizado pelas bactérias produtoras de metano (metanogénicas) é o ácido acético, no entanto os ácidos voláteis podem ser utilizados quase na totalidade pelas espécies específicas de bactérias metanogénicas.

As duas principais vias metabólicas da formação do metano são a decomposição biológica do ácido acético e a redução microbiológica do dióxido de carbono:



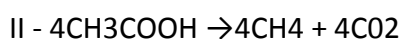
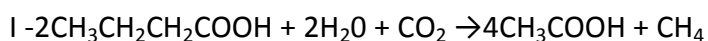
respetivamente.

O ácido propiónico por outro lado requer uma degradação microbiológica em dois passos:



Duas espécies de bactérias são requeridas para a completa fermentação do ácido propiónico.

O ácido butírico é decomposto por processos microbiológicos anaeróbios tal como mostram as equações:





Cada um dos ácidos gordos de cadeia longa vai ser degradado a ácido butírico ou propiónico e posteriormente a ácido acético e metano. Uma mole de ácido propiónico é formada por mole de ácidos gordos não lineares durante a fermentação metanogénica; no entanto não há formação de ácido propiónico quando os ácidos gordos de cadeia linear são fermentados.

2.3 Requisitos do Processo de Digestão Anaeróbia

O propósito da digestão anaeróbia de lamas é a destruição biológica da parcela de sólidos voláteis nas lamas, proporcionando uma mais fácil desidratação, a posteriori, e maximizando a estabilização das mesmas lamas. A degradação dos sólidos voláteis depende do fator tempo. O tempo de retenção hidráulico e, por isso, um dos fatores mais importantes para conseguir a redução de sólidos voláteis pretendidos nas lamas digeridas. O tempo de retenção hidráulico e o tempo de residência celular são iguais em sistemas sem recirculação de lamas, um vez que, que a biomassa em suspensão é extraída juntamente com a fase líquida.

A digestão anaeróbia é limitada pela velocidade de reação de conversão dos ácidos voláteis a gás metano por ação das bactérias metanogénicas. Estas são anaeróbias estritas e extremamente sensíveis a mudanças de temperatura e pH, pelo que, é essencial que o ambiente no reator anaeróbio seja ótimo ao seu desenvolvimento.

O crescimento celular envolve o consumo de substratos que fornecem a energia e materiais necessários para a síntese de nova biomassa, no entanto, a energia fornecida é utilizada no próprio processo metabólico e na manutenção da biomassa existente. O processo de digestão anaeróbia possui vias metabólicas complexas que exigem um esforço das células bacterianas em manterem condições favoráveis a fermentação, pelo que a produção de metano durante a digestão anaeróbia de sólidos orgânicos absorve a maior parte da energia produzida pelas bactérias metanogénicas. A quantidade de energia disponível para o crescimento celular é relativamente baixa quando comparada com a energia disponível para o efeito durante a oxidação aeróbia, processo que por si só produz mais energia e exige menores gastos em manutenção celular.

O crescimento de novas células bacterianas (biomassa) não é evidente durante o processo de digestão anaeróbia de lamas, porque o aumento na concentração de sólidos suspensos

resultantes da síntese de células microbianas é irrelevante em comparação com a redução global de sólidos voláteis nas lamas.

Vários parâmetros ambientais têm que ser controladas para uma correta operação da digestão anaeróbia de lamas. As condições ótimas para a produção máxima de metano durante o processo de digestão anaeróbia estão listadas na tabela 35.

Tabela 3 – Condições ambientais e de operação para a produção máxima de metano durante o processo de digestão anaeróbia de lamas.

Variável	Ótimo	Gama de aplicação
pH	6.8-7.4	6.4-7.8
Potencial Redox (ORP) (mV)	-520 a -530	-490 a -550
Acidez Volátil (mg/L como ácido acético)	50-500	>2000
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	1500-3000	1000-5000
Temperatura		
Mesófilo	30-35°C	20-40°C
Tempo de Retenção Hidráulico (dias)	10-15	7-30
Composição do gás		
Metano (CH ₄) (%v)	65-70	65-70
Dióxido de Carbono (CO ₂) (%v)	30-35	25-40

Adaptado de Malinas, 1992.

2.3.1 pH

Num sistema de digestão anaeróbia em equilíbrio, à medida que os ácidos voláteis são convertidos em metano e dióxido de carbono deve manter-se pH entre 6.8 e 7.4.

Inicialmente, o pH ira descer, na fase acidogénica, no entanto, a alcalinidade produzida pelo sistema serve de tampão. Com um tempo de retenção hidráulico superior a cinco dias, as bactérias metanogénicas convertem os ácidos voláteis produzidos durante a fase ácida a metano e dióxido de carbono.

Nem todos os grupos tróficos mostram o mesmo grau de sensibilidade ao pH. Assim, o pH ótimo para as bactérias hidrolíticas situa-se entre 7.2-7.4, por volta dos 6 para as bactérias acidogénicas e 6.5-7.5 para as metanogénicas. Uma determinada modificação do valor de pH

pode não ter qualquer relevância para alguns grupos tróficos e ser determinante para outros, dadas as diferentes sensibilidades a variação deste parâmetro (Lema et al, 1992). Quando o pH desce a valores inferiores a 6.0, uma inibição das bactérias metanogénicas (figura 6) pode ser observada, levando a acumulação de ácidos voláteis, o seu substrato, tomando o ambiente ainda mais ácido. Eventualmente a produção de gás cessará.

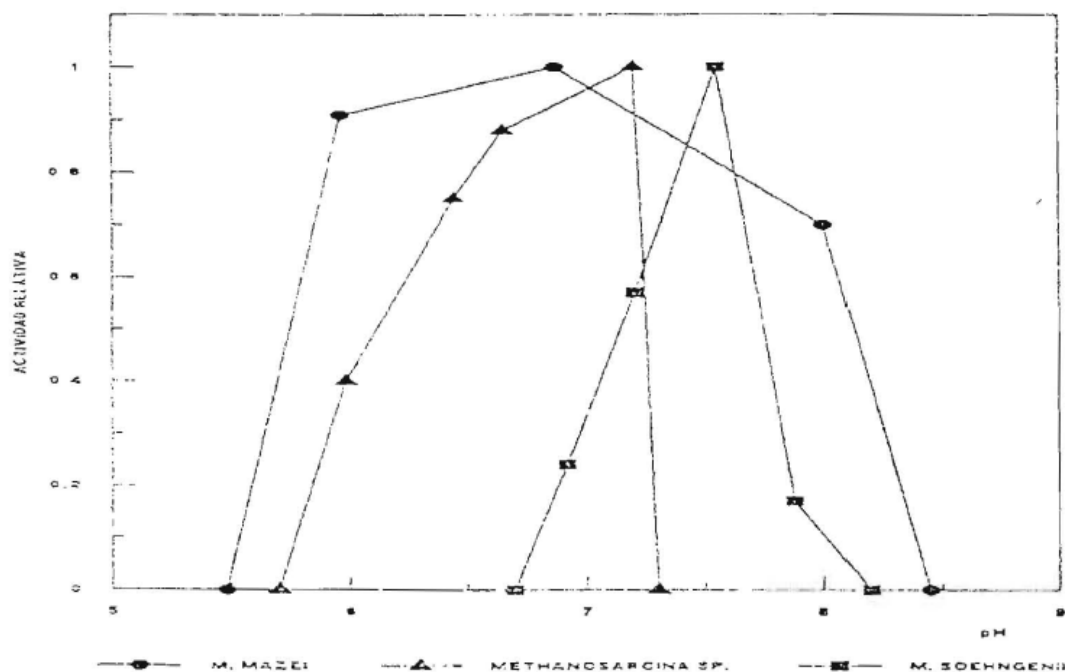
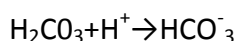
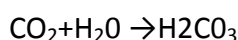


Figura 4 - Influência do pH na atividade de diferentes espécies metanogénicas (adaptado de Lema, 1992).

2.3.2 Alcalinidade

Uma alcalinidade suficiente é essencial para um correto controlo do pH. A alcalinidade provém da quebra das ligações orgânicas e está presente principalmente na forma de bicarbonatos, que estão em equilíbrio com o dióxido de carbono do gás para um determinado pH. Esta relação entre a alcalinidade, o dióxido de carbono no gás e o pH está representada na figura 7 e obedece às seguintes reações:



Para valores de pH entre 6.6 e 7.4, com uma quantidade de dióxido de carbono no gás de 30 - 40% do volume, a alcalinidade na forma de bicarbonato vai tomar valores entre 1000 e 5000 mg/L expressa como CaCO_3 .

A concentração da alcalinidade ao bicarbonato deve ser aproximadamente de 3000 mg/l como CaCO_3 , sendo semelhante à alcalinidade total do sistema de digestão anaeróbio, como se verifica na figura 7.

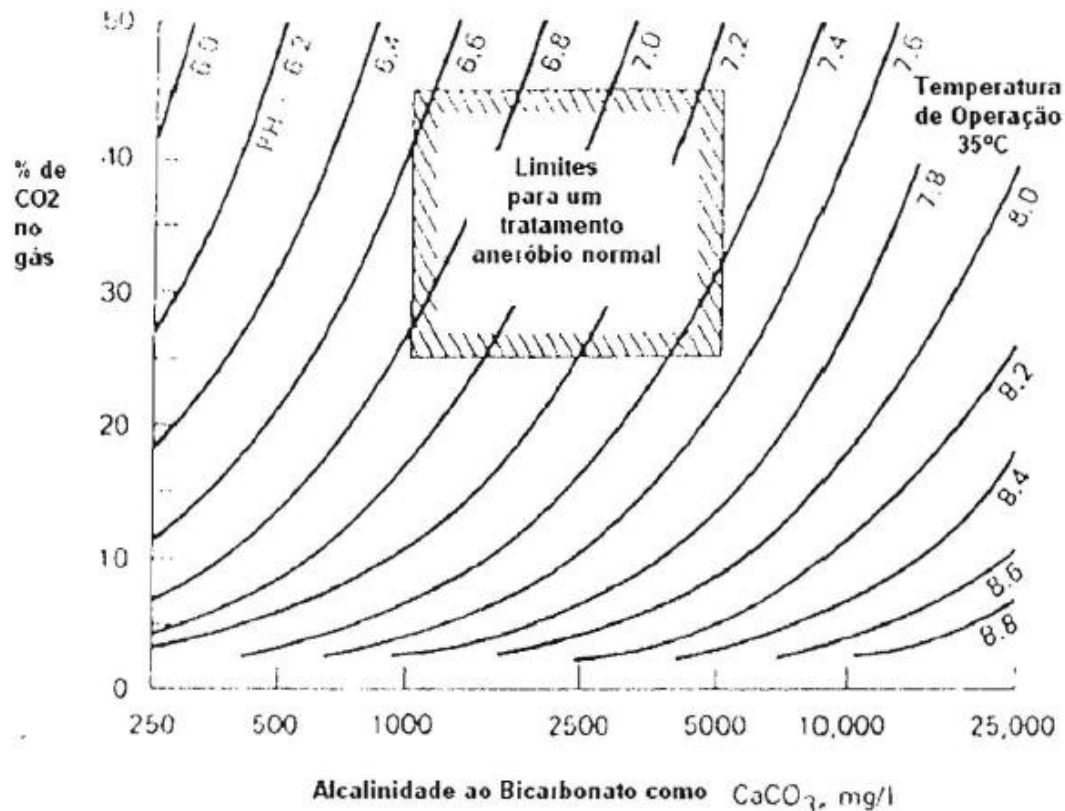


Figura 5 - Relação entre o pH, CO_2 , e alcalinidade ao bicarbonato (adaptado de Malinas, 1972).

Uma parcela da alcalinidade surge como sais de ácidos voláteis, que resultam da reacção dos ácidos voláteis com o bicarbonato presente, libertando dióxido de carbono.

Para valores baixos de concentração de ácidos voláteis baixos, a alcalinidade ao bicarbonato representa aproximadamente a alcalinidade total, mas à medida que a concentração dos ácidos voláteis aumenta, a alcalinidade ao bicarbonato é bastante menor que a alcalinidade total. Cerca de 83.3% da concentração dos ácidos voláteis contribui para a alcalinidade na forma de sais de ácidos voláteis.

Cálcio, magnésio, e bicarbonato de amónia são exemplos de substâncias tamponantes tipicamente encontradas nos digestores. O processo de digestão produz bicarbonato de

amónia, vindo os outros elementos nas lamas de alimentação. Um digestor aquecido, bem estabilizado, tem uma alcalinidade total de 2000mg/l a 5000 mg/l.

2.3.3 Temperatura

As diferentes populações implicadas apresentam uma atividade muito dependente da temperatura de operação, mas os microrganismos metanogénicos, em particular, são extremamente sensíveis as mudanças de temperatura, apresentando intervalos de atuação muito limitados.

As bactérias metanogénicas estão ativas em duas faixas de temperatura, nomeadamente na gama mesófila (29.5°C-35°C) e na gama termófila (50-60°C). A uma temperatura superior a 40°C e inferior a 50°C respetivamente, a produção de metano é inibida, pelo que esta gama de valores não deve ser considerada para digestores anaeróbios.

A digestão anaeróbia também pode ser conseguida com bons resultados operando o sistema a uma temperatura de cerca de 20°C. É essencial que a temperatura de operação seja mantida o mais constante possível.

Pequenas e frequentes flutuações na temperatura afetam o rendimento das bactérias metanogénicas. A produção de gás é maior à temperatura de 35°C no caso da digestão mesófila e de 55°C no caso da termófila. A temperaturas na ordem dos 45°C a produção de gás é menor indicando que as bactérias metanogénicas são inibidas nesta gama de temperaturas intermédias.

Uma importante vantagem da digestão termófila prende-se com a maior destruição de organismos patogénicos em relação à digestão mesófila. O aumento de custo provocado pela necessidade de manter o sistema em temperaturas de funcionamento termófilas, não é compensado pelo aumento da produção de gás, nem por uma digestão mais completa.

2.3.4 Potencial Redox

Manter um ambiente fortemente redutor no sistema resulta primordial, pelo que a análise sistemática deste parâmetro indica-nos a possibilidade da presença de materiais oxidantes que possam vir afetar a eficiência do sistema. Não obstante, para um afluente homogéneo e se não se produz uma entrada massiva de ar no sistema, o ambiente redutor não costuma ser afetado (Soto et al, 1991).

Convém manter o valor do potencial redox abaixo de -550 mV, o que nem sempre é possível, sendo o ótimo na gama de -520 a -530 mV.

2.3.5 Tempo de Retenção Hidráulico

O tempo de retenção hidráulico afeta a extensão de destruição de sólidos voláteis no processo de digestão anaeróbia, assim como o tamanho do reator a utilizar.

O tempo de geração (i.e., o tempo requerido para duplicar o número de bactérias ou para dobrar a população microbiana) das bactérias metanogénicas é relativamente longo comparado com o tempo de geração de bactérias aeróbias ou facultativas, variando de menos de dois dias até mais de 20 dias, a temperatura de 35°C, levando a que os tempos de retenção hidráulica típicos sejam de entre 15 a 20 dias. Em casos extremos de otimização em alguns sistemas consegue operar-se com tempos de retenção hidráulicos inferiores a sete dias.

O tempo de retenção hidráulico afeta a taxa de produção do metano, sendo por vezes afetada pelas condições ambientais no reator e pela concentração dos sólidos totais e de sólidos voláteis nas lamas de alimentação. Tipicamente, as lamas de alimentação de um digestor contém quantidades idênticas de lamas primárias e lamas secundárias (lamas ativadas provenientes do decantado secundário), em que a quantidade de sólidos voláteis introduzidos controla a velocidade e quantidade de gás produzido.

A concentração total de sólidos afeta a capacidade de uma mistura eficaz, isto é, de desfazer bolsas com diferentes lamas e a diferentes temperaturas.

A conversão de sólidos voláteis em produtos gasosos é controlado pelo tempo de retenção hidráulico, por isso o tempo de retenção pretendido é uma função da qualidade final das lamas digeridas.

2.3.6 Carga de Sólidos

O tempo de retenção hidráulico controla o grau de estabilização dos sólidos voláteis. A carga de sólidos voláteis realmente aplicável é controlada, na maioria das instalações pela eficiência de espessamento e concentração das lamas mistas.

A concentração de sólidos nas lamas de alimentação condiciona a carga e o tamanho do digestor. A junção de lamas secundárias com lamas primárias permite um maior espessamento, podendo, desta forma, ser mantida a carga de sólidos para o digestor.

Uma concentração de 50% de sólidos voláteis nas lamas digeridas é um valor considerado satisfatório, sendo possível este nível de sólidos voláteis com um tempo de retenção hidráulico de cinco dias. Tempos de retenção mais longos podem ser necessários dependendo do destino final das lamas.

Por outro lado o tamanho do digestor e a concentração das lamas de alimentação ditam que quantidade de sólidos é possível inserir, para manter o tempo de retenção hidráulico mínimo. Por exemplo para operar um digestor anaeróbio com uma carga de sólidos voláteis de 3.2 kg/m³.dia e um tempo de retenção de dez dias, a concentração das lamas de alimentação deve ser de aproximadamente de 3.2% de sólidos voláteis. Esta concentração corresponde a aproximadamente uma concentração de 4.5% de sólidos totais (assumindo 72% de sólidos voláteis). De forma a conseguir esta carga, a mistura de lamas primárias e secundárias deve ser espessada até pelo menos 2% de concentração em sólidos.

Se o tempo de retenção hidráulico for de quinze dias, a concentração em sólidos deve ter uma concentração de 4.6% de sólidos voláteis (6.4% sólidos totais) para manter uma carga de 3.2 kg/m³.dia.

2.3.7 Mistura

As principais vantagens da mistura em reatores, para além de eliminar as escumas, são:

- A eliminação da estratificação térmica e a manutenção de uma temperatura uniforme por todo o digestor, assim como uniformizar química e fisicamente as lamas;
- Manter um contacto íntimo entre a biomassa ativada e as lamas de alimentação;
- Dispersão rápida de produtos finais do metabolismo produzidos durante a digestão e também de algum material tóxico que tenha entrado no digestor, minimizando desta forma os efeitos inibidores que possam advir de uma possível contaminação;
- Prevenir a formação de escumas superficiais e a acumulação de detritos nos cantos e fundo do digestor.

A maior desvantagem da mistura completa num digestor, prende-se com os custos energéticos.

As tentativas iniciais de agitar o conteúdo de um digestor anaeróbio estavam diretamente ligados a tentativas de manter as escumas superficiais húmidas, de forma a serem facilmente

quebradas para permitir a libertação do gás. Os métodos utilizados passavam por bombear lamas de um digestor para outro, bombear sobrenadante para manter as escumas superficiais húmidas, recirculação de gás e mistura mecânica.

3. Dados de Base da ETAR de Bragança

3.1 População

A ETAR de Bragança recebe e trata as águas residuais da cidade de Bragança, bem como de algumas localidades próximas ao perímetro urbano, servindo atualmente cerca de 31.958 habitantes, como se pode verificar através da tabela 1, onde se encontra a estimativa populacional para a ETAR de Bragança.

Tabela 4 - População servida e estimativa de evolução da mesma.

População Servida (hab.)	2001	2011	2031
Residente	21700	23215	28488
Flutuante	10258	10974	13467
Total	31958	34189	41955

Fonte: Memória descritiva do projeto da ETAR de Bragança

3.2 Caudal

Segundo os dados de projeto, a ETAR de Bragança está projetada para receber e tratar em horizonte de projeto cerca de 5685 m³/d de águas residuais urbanas, como se pode observar na tabela 2, valor estes que se encontra dentro da realidade espetável, uma vez que no período em análise neste estágio, anos de 2008 a 2010, foram recebidos e tratados em média cerca de 4.946 m³/d.

Tabela 5 – Estimativa de caudais para a ETAR de Bragança.

Ano	Qm (m³/d)	Qpd (m³/h)	Qp (l/s)
2001	3636,1	341,0	75,5
2011	4261,4	-	88,4
2031	5685,2	534,0	118,0

Fonte: Memória descritiva do projeto da ETAR de Bragança

No gráfico seguinte comparam-se o caudal médio diário mensal do período compreendido entre Janeiro de 2008 a Dezembro de 2010.

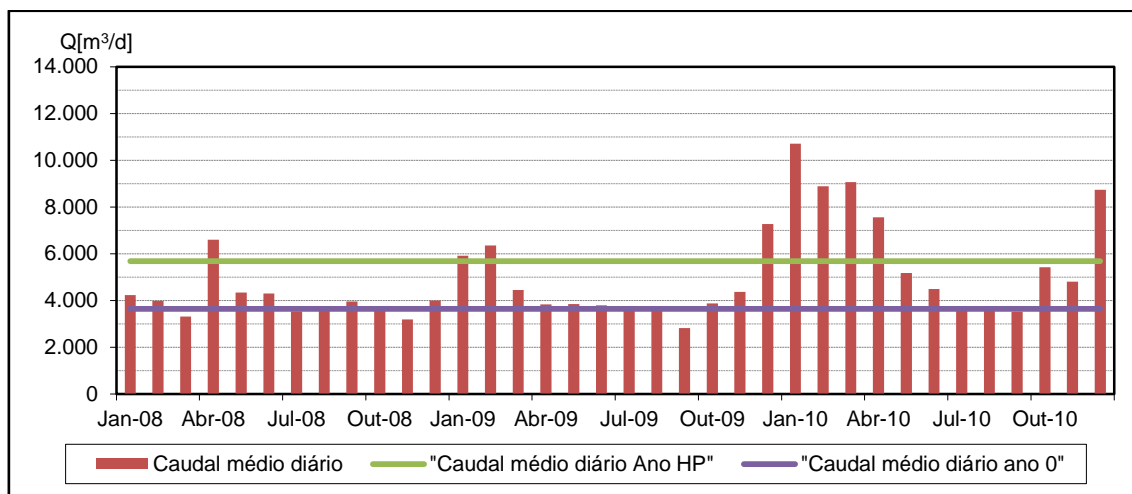


Figura 6 - Comparação dos valores de caudal entre os dados de projeto e os dados de processo.

Como se pode verificar na generalidade dos meses, o caudal médio diário encontra-se dentro do previsto nos valores de projeto, verificando-se, no entanto, que nos meses de extrema precipitação os valores previstos para o ano Hp são ultrapassados.

3.3 Caracterização do Afluentes

O Afluentes recebido na ETAR de Bragança, e segundo o definido no artigo 2.º do Decreto-lei n.º 172/97, de 19 de Junho é classificado como urbano, uma vez que é constituído principalmente por águas residuais domésticas e de pequenas indústrias inseridas na malha urbana.

Como se pode verificar pela tabela 3, o afluentes à ETAR de Bragança pode ser classificado como forte (Metcalf & Eddy, 1979), tendo as seguintes características médias no período em causa.

Tabela 6 – Características médias do afluente à ETAR de Bragança e comparação com projeto.

Parâmetro	Concentração média em projectão para o ano Hp (mg/l)	Concentração média entre 2008 e 2010 (mg/l)	Carga Afluente em projeto para o ano Hp (kg/d)	Carga Afluente média entre 2008 e 2010 (kg/d)
CBO	350	614	1990	2792
CQO	438	945	2490	4688
SST	500	501	2843	1819
SSV ¹	400	-	2274	-
N	50	77	284	358

De mencionar que os valores médios de pH, óleos e gorduras e substâncias tensioativas no afluente a ETAR para o período em análise foram de: 8,00; 0,3 mg/l e 93 mg/l respetivamente.

De uma forma genérica pode ser afirmado que a ETAR se encontra subdimensionada em termos de cargas para os principais parâmetros em análise com exceção dos sólidos suspensos totais.

3.4 Meio Recetor

O efluente tratado é rejeitado por emissário no rio fervença. Está é considerada zona menos sensível, de acordo com o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho que transpõe para o direito interno a diretiva n.º 91/271/CEE, de 21 de Março de 1991, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas.

O Rio Fervença nasce na Serra da Nogueira, a 1300 metros de altitude, desaguardo no Rio Sabor a 480 metros de altitude. Este curso de água banha várias povoações, tornando-se parte da sua água para rega de culturas e pomares da Veiga de Gostei e de Castro de Avelãs. No decorrer do seu curso de água, o rio Fervença percorre vários terrenos, muitos dos quais se destinam à agricultura e pecuária.

A descarga é já efetuada no troço que percorre a cidade de Bragança.

¹ No plano analítico da ETAR de Bragança não está contemplada a execução de SSV no afluente bruto, pelo que não é possível calcular os dados para este parâmetro para o período em análise.

4. Descrição e Funcionamento do Sistema de Tratamento

4.1 Descrição Geral do Sistema

O processo de tratamento adotado é o de lamas ativadas, em regime de média carga.

A ETAR é composta por uma linha de tratamento da fase líquida, uma linha de tratamento de fase sólida e uma linha de tratamento de fase gasosa.

Segue-se uma descrição sumária das operações e processos unitários que constituem num todo o tratamento efetuada na ETAR de Bragança.

O afluente bruto dá entrada numa câmara inicial que posteriormente se divide em dois canais abertos, um equipado com um tamisador e outro com uma grade mecânica. Existe ainda um outro canal com uma grade manual, de by-pass aos dois canais principais, que será posto em funcionamento em caso de intervenção na grade mecânica ou no tamisador. Cada canal está equipado com uma comporta de acionamento manual. Existe nesta primeira câmara um descarregador de tempestade.

A jusante destes três canais, o afluente passa por um único canal, o canal Parshall equipado com um sistema de medição de caudal do tipo ultrassónico.

A seguir, o caudal passa para o duplo tratamento de remoção de areias e remoção de gorduras. Esta operação é efetuada em dois órgãos muito semelhantes, um existente desde o início de funcionamento da ETAR e outro construído na ampliação da ETAR. O modo de funcionamento é por insuflação de ar comprimido, para flotação das gorduras e decantação das areias e sólidos de pequenas dimensões.

Depois de passarem pelos desarenadores/desengorduradores, a água residual dá entrada numa caixa de repartição de caudais, seguindo graviticamente para os três decantadores primários. Os decantadores primários são do tipo cilindro-cónico, de fluxo vertical com pontes raspadoras de fundo e superfície. As escumas formadas à superfície são enviadas para a caixa de purga de lamas primárias. As lamas primárias seguem graviticamente e através de uma raspagem de fundo para o poço de bombagem, EE2.

Após a decantação primária, a água é levada ao tratamento biológico, através de uma caixa de adução localizada a montante do tanque anóxico e tanques de arejamento. O tratamento do efluente pré-tratado, decorre em duas etapas que permitem a remoção da matéria carbonada e nutrientes dissolvidos. Inicialmente ocorre a nitrificação em tanque anóxico, permitindo a

eliminação de nitratos e posteriormente em condições aeróbias, nos tanques de arejamento, ocorre a nitrificação do azoto amoniacal a nitratos e oxidação bioquímica da matéria orgânica iniciada na zona anóxica. O arejamento é efetuado em dois tanques diferentes, por turbinas no tanque inicial e, por difusão de bolha fina no tanque novo.

Posteriormente ao processo biológico, o efluente é repartido pelos decantadores secundários, os quais são tal como os primários do tipo cilindro-cónico, de fluxo vertical com ponte raspadora de fundo e com ponte raspadora de superfície (neste caso, somente o decantador n.º2 que foi construído na ampliação da ETAR). O efluente depurado é recolhido por transbordo sobre descarregadores periféricos, sendo então enviado para o meio recetor, o Rio Fervença.

As escumas do decantador n.º2 e as lamas dos três decantadores secundários são descarregados em contínuo e por pressão hidrostática para um poço de recirculação de lamas, EE1 de onde são enviadas para a caixa de repartição de caudais de lamas, de onde seguem para a caixa de adução a montante do tanque anóxico (recirculação) ou para a EE2 (lamas em excesso).

A jusante da caixa de repartição de lamas encontra-se o já referido poço de bombagem, EE2 que para além de receber as lamas primárias recebe as secundárias em excesso, elevando, assim, as lamas mistas em direção ao espessador.

Após o espessamento, estas são encaminhadas para os dois digestores anaeróbios, sendo posteriormente desidratadas através de um filtro de bandas. Às lamas a desidratar é adicionada uma solução de polielectrólito, que funciona como um flocculante, aumentando deste modo a eficiência do filtro de banda. As lamas são temporariamente armazenadas num silo, para posteriormente serem encaminhadas a destino final.

As escorrências do espessador, digestores, sala da caldeira, motogerador e filtro de bandas, afluem graviticamente ao poço de escorrências (EE3), de onde são enviadas para a caixa de repartição de caudais a montante dos decantadores primários.

As lamas dos digestores são aquecidas com recurso a permutadores de calor, cuja a água de permuta térmica pode ser aquecida com recurso a uma caldeira (funcionamento a diesel ou biogás) ou um motogerador (funcionamento a biogás), sendo as lamas encaminhadas para os permutadores com recurso a estação elevatória.

O Biogás produzido nos digestores é encaminhado para um gasómetro, com um sistema de filtragem a montante do mesmo. A partir do gasómetro o biogás é encaminhado para a caldeira ou motogerador em função das necessidades de processo.

O biogás em excesso ou com fraca qualidade pode ser ainda encaminhado para uma tocha de queima.

Existe ainda um sistema de desodorização com recurso a torre de desodorização com carvão ativado por onde passa o ar removido por extratores dos espessadores, sala de desidratação e sala da caldeira e permutadores

De seguida apresenta-se um diagrama linear do processo de tratamento da ETAR de Bragança.

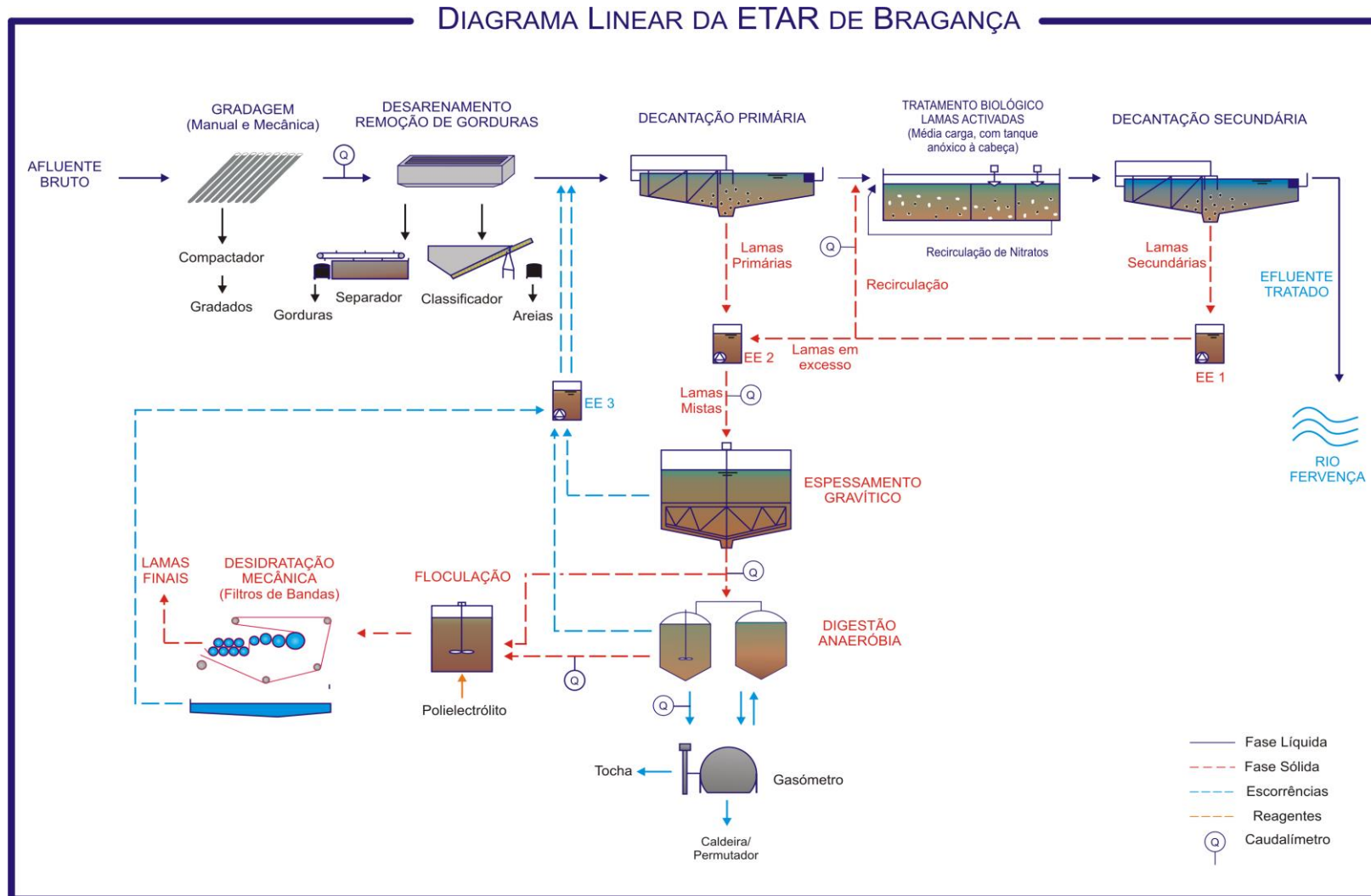


Figura 7 - Diagrama linear da ETAR de Bragança.

4.2 Funcionamento do Sistema e Características dos Órgãos de Tratamento

De seguida faz-se uma descrição mais detalhada das diversas etapas de tratamento da ETAR de Bragança incluindo os parâmetros hidráulico-sanitários dos órgãos. Os parâmetros de funcionamento foram definidos de acordo com os valores apresentados na Memória Descritiva do projeto da ETAR.

Obra de Entrada – Tratamento preliminar

As águas residuais afluem à obra de entrada através do emissário de ligação. A obra de entrada inclui gradagem para retenção de sólidos grosseiros e um canal parshall para medição de caudal afluindo posteriormente a um desarenador/desengordurador.



À obra de entrada, inclui um canal de gradagem mecânica, um para by-pass com uma grade manual, foi adicionado um terceiro canal, dimensionado para o ano horizonte de projeto, com a instalação de um sistema de gradagem fina rotativa, com limpeza mecânica e cilindro filtrante, com 6 mm de malha.

Nestas grades é possível efetuar no mesmo equipamento as operações de gradagem, desidratação e prensagem dos sólidos gradados, sendo estes descarregados do topo do equipamento para um parafuso transportador, através do qual são conduzidos diretamente para o contentor colocado à saída da descarga da grelha.

Tabela 7 – Características geométricas e hidráulicas

Canais com gradagem mecânica	
Número	2
Espaçamento entre barras da grade	6 mm
Largura Canal	650 mm
Altura Canal	1000 mm
Velocidade através das grelhas	1,40 - 3 m/s
Canal de by-pass aos canais com grade manual	
Espaçamento entre barras da grade:	15 mm
Largura Canal	650 mm
Altura Canal	1000 mm
Velocidade através das grelhas	0,35 -0,73 m/s
Medidor Parshall	
Caudal máximo de medição	210,8 l/s
Caudal mínimo de medição	25,7 l/s
Desengordurador/desarenador	
Número	2
Carga hidráulica máxima	10 m ³ m ⁻² h
Tempo retenção mínimo	9 min
Concentrador de gorduras	
Volume útil	8,7 m ³

A remoção de areias, óleos e gorduras é efetuada por dois desarenadores/desengorduradores, tipo tanque com desenvolvimento longitudinal, provido de arejamento para promover a remoção dos óleos e gorduras.

Este órgão foi dimensionado para o ano horizonte de projeto através dos critérios da carga hidráulica máxima e do tempo de retenção mínima.

O arejamento é fornecido através da difusão de ar comprimido por bolha grossa, sendo a produção de ar comprimido garantida através de compressores do tipo “roots”. Os compressores são equipados com conversores de frequência que permitem variar o caudal de ar admitido aos desarenadores. Para um controlo mais eficiente das condições de funcionamento de ar foram instalados medidores de caudal de ar (por pressão diferencial) cujas indicações servirão de base ao controlo da velocidade dos compressores.

Tendo em vista a insonorização do seu funcionamento, os compressores estão dotados de canópias de insonorização.

Os desarenadores/desengorduradores, individualmente, estão equipados com uma ponte raspadora de funcionamento contínuo, à qual se encontra fixado um aspirador de fundo acoplado a uma bomba móvel (remoção de areias) e raspador de superfície (remoção de óleos e gorduras). O efluente é descarregado por um deflector, passando seguidamente por um descarregador de altura ajustável.

A flotação, induzida pela insuflação de ar, permite, numa zona de tranquilização, a diferenciação dos óleos e gorduras da restante fase líquida, sendo estes posteriormente removidos pelo raspador de superfície e conduzidos ao concentrador de gorduras para

separação final de materiais flutuantes. A partir deste último, será periodicamente realizada a



remoção do material flutuante. As gorduras são ser encaminhadas para destino final adequado, tal como os gradados.

Quanto às areias, graviticamente depositadas no fundo de cada órgão, são aspiradas através de uma bomba especialmente adequada à extração de areias.

A mistura de águas e areias é conduzida através de tubagem até um classificador de areias com capacidade hidráulica necessária. Neste, a mistura (água + areia) acumula-se na zona posterior da máquina, verificando-se a precipitação muito rápida da areia para a zona de transporte, equipada com extrator sem-fim que arrasta a areia até à zona superior, onde, após lavagem com jatos de água limpa, para remoção de matéria orgânica arrastada, é descarregada para o contentor de recolha. As areias assim recolhidas serão seguidamente conduzidas a destino próprio com vista à sua utilização em fins compatíveis. O funcionamento das bombas de extração poderá ser temporizado ou função do caudal de águas residuais afluente.

A inspeção e manutenção dos equipamentos de extração de areias, de óleos e gorduras, e de insuflação de ar pode ser feita sem que com isso seja necessário tirar de serviço as unidades.

As águas de lavagem das areias e a fase líquida separada no concentrador de gorduras são escoadas graviticamente até a obra de entrada, onde são encaminhadas para a caixa de repartição de caudais aos decantadores primários.

Decantadores Primários

A remoção dos sólidos de menores dimensões transportados pelas águas residuais afluentes à ETAR, e que não ficaram retidos nas grades nem nos desarenadores/desengorduradores, é feita em três decantadores primários, de planta circular, e raspador mecânico de fundo.

As operações a efetuar nestes órgãos e seus anexos destinam-se a promover uma separação da parte dos sólidos em suspensão transportados pelas águas residuais permitindo que simultaneamente, seja removida também matéria orgânica, expressa como Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO5).

O funcionamento dos decantadores primários é especialmente importante, não só pela depuração das águas residuais que aí se efetua, mas também pela influência que tem sobre os parâmetros de funcionamento dos órgãos localizados a jusante, quer para a fase líquida, quer para a fase sólida.



A montante dos decantadores primários existe uma câmara de repartição de caudais dos efluentes do tratamento preliminar. Os decantadores primários estão ainda equipados com uma ponte raspadora de acionamento periférico através de um motoredutor com um raspador de superfície para escumas e um de fundo (para as lamas), cada.

As lamas primárias são dirigidas para o centro do decantador por raspagem de fundo e enviadas graviticamente para o poço de bombagem de lamas mistas.

Tabela 8 – Características decantadores primários

Decantadores primários	
Número	3
Diâmetro útil	10 m
Profundidade cilíndrica	3,30 m
Superfície livre projetada	78,5 m ²
Volume útil, unitário	259,2 m ³
Carga hidráulica	2,4 m ³ m ⁻² h ⁻¹

Tanque Anóxico

Para o Tanque de Anóxia, considerou-se um tempo de retenção hidráulico necessário à desnitrificação de 3.0 h, valor mínimo para que o processo de desnitrificação ocorra.

Desta forma, o Tanque de Anóxia apresenta um volume útil máximo de 715,3 m³ de secção retangular, com 7,1 m de largura e 15,5 m de comprimento e com uma profundidade máxima de 6,5 m.



Tabela 9 – Características do tanque anóxico.

Tanque de Anóxia	
Número	1
Volume útil máximo	715 m ³
Tempo de retenção	3 horas
Agitadores submersíveis	2,8 kW, por unidade

O tanque de anóxia está equipado com dois agitadores mecânicos submersos, destinados a evitar a sedimentação dos materiais suspensos. Os agitadores possuem uma potência de agitação de 2,8 kW; eles manterão a biomassa em suspensão sem, no entanto, quebrar as condições anóxicas necessárias ao processo de desnitrificação.

Este tanque é ainda provido de recirculação a partir dos Tanques de Arejamento. Desta forma, as águas residuais pré-tratadas são distribuídas por gravidade a partir da caixa de repartição de caudais ao Tanque de Anóxia, sendo a entrada neste tanque controlada por duas válvulas murais.

Tanques de Arejamento

Existem na ETAR de Bragança, dois tanques de arejamento, um por turbinas de superfície (existente desde o início de funcionamento da ETAR) e outro por difusores (construído na ampliação da ETAR no ano de 2005). Estes órgãos funcionam num processo de lamas ativadas em regime de média carga, num sistema de mistura integral.



Destinam-se essencialmente a transformar a matéria orgânica transportada pela água residual afluyente, em flocos biológicos, denominados lamas ativadas, facilmente sedimentáveis no decantador secundário localizado a jusante.

Esta conversão é efetuada através da atividade dos microrganismos transportados pela água residual, pelo que é necessário proceder a um controlo rigoroso e sistemático das condições de funcionamento dos tanques de arejamento, ou seja, das condições de desenvolvimento desta população microbiológica.



Para assegurar a existência de quantidades adequadas deste floco microbiológico com as características desejadas de absorção e biodegradação da matéria orgânica que continuamente alimenta os reatores biológicos, torna-se necessário efetuar uma recirculação dos flocos sedimentados nos decantadores secundários localizados a jusante, para os tanques de arejamento.

Dado o crescimento constante da biomassa (lama ativada) durante o processo de depuração da matéria orgânica da água residual afluyente, é necessário retirar periodicamente uma parte excedentária, denominada "lamas em excesso".

Para garantir boas condições ambientais nestes reatores biológicos, é necessário controlar alguns parâmetros fundamentais:

- pH
- Temperatura
- Teor em oxigénio dissolvido (condições aeróbias)
- Teor em sólidos suspensos totais (SST)
- Teor em biomassa (SSV)
- Teor em nutrientes
- Carga mássica
- Carga volúmica
- Idade das lamas
- Taxa de recirculação
- Tempo de retenção
- Índice de Mohlman

Análises periódicas do licor biológico param identificação e quantificação das principais espécies de microrganismos existentes (bactérias, rotíferos, protozoários, algas, etc...)

O controlo da biomassa existente no reator biológico, cujo valor depende das características de afluência das águas residuais e do próprio desenvolvimento dos microrganismos, será regulado através da recirculação dos mesmos, do decantador secundário localizado a jusante para o tanque de arejamento, e da quantidade de biomassa em excesso retirada do sistema.

Estas regulações serão efetuadas através do controle da relação entre os alimentos - food, F - processados nos tanques de arejamento e a biomassa - microrganismos, M - aí desenvolvida, F/M, ou carga mássica, que se deverá situar na gama de 0,2 a 0,5 kg CBO₅ /kg MLVSS-dia (arejamento a média carga), admitindo que, controlando o caudal de recirculação de lamas ativadas, se manterá uma concentração de biomassa de cerca de 3 g/l (SSV).

Outros parâmetros operacionais importantes deste tipo de tratamento biológico e respetivos valores aconselhados são:

O teor de sólidos suspensos totais no arejamento deve estar compreendido entre 2 e 4 mg /l.

A carga volúmica (F/V), que traduz a relação existente entre o alimento diário afluente ao arejamento e o volume do reator biológico, deverá situar-se entre 0,5 e 1 kgCBO5/m³-dia. É de salientar que para o cálculo rigoroso e fiável dos diversos parâmetros operacionais do tratamento biológico, as cargas orgânicas e de sólidos devem ser obtidas a partir dos resultados analíticos do efluente da decantação primária e não devem ser determinados a partir das cargas do afluente bruto à ETAR.

A taxa de recirculação para o tanque de arejamento deverá ser superior a 30 % e inferior a 100 %.

O tempo de retenção hidráulico (Volume do reator/ caudal afluente ao arejamento) deverá ser normalmente de 4 a 8 horas.

O Índice de Mohlman (Sól. Sed. / SST no arejamento) é um indicador da sedimentabilidade das lamas e deve ser o mais baixo possível para haver uma boa clarificação no decantador secundário situado a jusante. Este parâmetro deve situar-se abaixo dos 150.

Finalmente, será controlado periodicamente, o teor em nutrientes, azoto e fósforo necessários para o desenvolvimento da biomassa, bem como o CBO5. As relações entre estes parâmetros devem ser as seguintes:

- CBO5/N-total \leq 20

- CBO5/P-total \leq 100

Assim, e em resumo, os principais objetivos a atingir durante o funcionamento dos tanques de arejamento são os seguintes:

Manutenção de um número adequado de microrganismos em atividade no sistema, capazes de assimilar a totalidade da matéria orgânica presente na água residual, nas formas suspensa, coloidal e dissolvida, transformando-a em dióxido de carbono, água e substâncias inertes.

Garantia de um ambiente adequado para a sobrevivência e crescimento dos microrganismos, nos tanques de arejamento. Os parâmetros ambientais mais importantes são o oxigénio, o substrato e os nutrientes.

Obtenção de flocos microbiológicos que sedimentem rápida e facilmente nos decantadores secundários a jusante, deixando um sobrenadante claro e isento de sólidos e colóides em suspensão.

Na ETAR de Bragança, o efluente, após passar pelo tanque anóxico, é repartido 60% para o tanque de arejamento de turbinas e 40% para o tanque de arejamento de difusores controlado

por válvulas telescópicas, sendo o funcionamento dos dois tanques independente, quer em termos de alimentação de líquido quer em termos de descarga.

As necessidades de oxigénio para o tanque de arejamento n.º1 (existente) são asseguradas através de duas turbinas superficiais de eixo vertical, sendo o seu sentido de rotação alternado.

Relativamente ao tanque de arejamento n.º2 (construído na ampliação da ETAR), o oxigénio é fornecido em contínuo por um sistema de difusores de bolha fina, instalados no fundo do tanque. A rede de ar comprimido para alimentação dos difusores tem origem em dois electrocompressores do tipo de conjunto motor/impulsor compacto e integral de construção monobloco, sem qualquer acoplamento. Na extremidade do rotor do motor encontra-se montado o impulsor do sobrepessor sem qualquer caixa de engrenagens para incrementar a velocidade do impulsor. O caudal de ar fornecido é controlado pela variação de velocidade do motor elétrico, e, complementarmente, pela regulação da válvula motorizada colocada na aspiração do sobrepessor.

O fornecimento de oxigénio aos dois tanques de arejamento pode funcionar por:

- a) temporização;
- b) Introdução de “set-points” de oxigénio dissolvido, através de uma sonda de Oxigénio instalada em cada tanque.

O funcionamento dos arejadores/compressores está diretamente dependente do intervalo de valores entre os quais se deve encontrar sempre o oxigénio dissolvido no interior de cada um dos tanques de arejamento (entre 1,5 e 2,5 mg O₂/l) para que simultaneamente se garanta as condições de sobrevivência dos microrganismos aeróbios e se otimizem os gastos energéticos. Adicionalmente, os arejadores/difusores além de serem responsáveis pela introdução de oxigénio, asseguram também a mistura entre os flocos de microrganismos e a matéria orgânica afluyente, de forma a que não existam pontos de sedimentação no interior dos tanques de arejamento.

O nível do líquido nos tanques de anóxia e de arejamento é variável, comandado por válvulas telescópicas, de forma a ajustar o volume ao caudal afluyente.

A recirculação ao tanque de anóxia é garantida por dois grupos submersíveis instalados dentro de cada tanque de arejamento, junto à descarga para os decantadores, com um caudal unitário de cerca de três vezes o caudal de recirculação aos tanques de arejamento.

Tabela 10 – Características dos tanques de arejamento.

Tanque de Arejamento	
Número	2
Volume útil TA 1	1115 m ³
Largura	14,5 m
Comprimento	14,5 m
Profundidade	5,3 m
Volume útil TA 2	695 m ³
Largura	6,9 m
Comprimento	15,5 m
Profundidade	6,5 m
Volume total	1810 m ³

Decantadores Secundários

Os objetivos a atingir com a operação dos decantadores secundários são essencialmente:

Produção de um efluente decantado de boa qualidade, compatível com o tratamento biológico efetuado a montante.

Extração das lamas em excesso para destino final após desidratação.

Para cumprir estes objetivos, será mantida uma

carga hidráulica superficial inferior a 1,0m³/m²h, promovendo a saída uniforme do efluente ao longo de todo o perímetro dos descarregadores.

Simultaneamente, as lamas serão mantidas em condições de aerobiose, de forma a evitar o desprendimento de bolhas de gás e o arrastamento das lamas do fundo, através de um programa adequado de purga de lamas.

Será também dada especial atenção à manutenção de um residual de oxigénio dissolvido no efluente final descarregado pelo decantador secundário, para evitar a desnitrificação das lamas, factor que diminui a sedimentabilidade das mesmas, provocando a ascensão de finos e filamentos de lamas secundárias.

Tal como na decantação primária, a secundária também é assegurada por dois decantadores de planta circular, estes decantadores estão providos com pontes raspadoras de acionamento periférico através de um motoredutor e equipadas com uma lâmina raspadora de fundo. O efluente é recolhido por transbordo para uma caleira periférica e enviado para o seu destino final. As lamas dos três decantadores são descarregadas graviticamente na EE de recirculação



de lamas, e desta por bombagem para o tanque anóxico. As lamas em excesso são retiradas para a EE de lamas mistas e posteriormente para os espessadores.

As escumas do decantador n.º2 (construído na ampliação da ETAR) recolhidas através da ponte raspadora de superfície, são descarregadas graviticamente no poço de recirculação de lamas, que as conduzirá por bombagem até ao tanque anóxico.

Tabela 11 – Características dos decantadores secundários.

Decantadores primários	
Número	3
Diâmetro útil	13m
Área superficial	133 m ²
Profundidade	2,8 m
Volume útil, unitário	372 m ³
Carga hidráulica	1,6 m ³ m ⁻² h ⁻¹

Estação Elevatória de Recirculação de Lamas (EE1) e de Lamas Mistas (EE2)

As lamas primárias afluem graviticamente e as lamas em excesso são bombadas a partir da Estação Elevatória de lamas biológicas (EE1) para esta Estação Elevatória de lamas mistas EE2). Ambas as EE's são constituídas por dois grupos de bombagem funcionando um de reserva do outro.

Estação Elevatória de Escorrências e Sobrenadantes (EE3)

As escorrências provenientes do equipamento de desidratação de lamas e os sobrenadantes dos espessadores existentes são escoadas graviticamente para a EE3 e elevadas para a caixa de adução aos decantadores primários. A mesma servirá agora, também, as escorrências dos digestores. Mantiveram-se os mesmos grupos eletrobomba.

Espessadores

O espessador permite concentrar as lamas extraídas dos decantadores primários e secundários, reduzindo o volume de lamas descarregadas nos órgãos a jusante e ainda regular os caudais de lamas descarregadas.

O objetivo primordial a atingir com a operação deste órgão é o de concentrar as lamas até um teor máximo de cerca de 4%. Esta concentração obtém-se por um processo de compressão provocada pelo peso dos sólidos e de libertação do líquido intersticial, por um processo de

lenta agitação, fazendo-se a descarga de lamas espessadas intermitentemente, quando atingida a concentração desejada.

A agitação dos espessadores é garantida por uma ponte raspadora composta por um raspador de fundo, lâmina de agitação e espessamento pela unidade do acionamento e pelo sistema de transmissão do movimento rotação.

Tabela 12 – Caraterísticas dos espessadores.

Espessadores	
Número	2
Diâmetro	5,5 m
Superfície	23,7 m ²
Volume	100,5 m ³
Teor de matéria seca, nas lamas, à saída	2,5 % MS

Digestores

Os digestores anaeróbios a quente têm como objetivo o desenvolvimento de bactérias que fazem a decomposição e estabilização da matéria orgânica ainda presente nas lamas. Neste processo parte dos sólidos é convertida biologicamente em metano, dióxido de carbono e vapor de água, reduzindo a quantidade de sólidos e volume de lama a desidratar.

A lama resultante da digestão anaeróbia é uma lama inerte, mineralizada e estabilizada quimicamente.

Tabela 13 – Características dos digestores.

Digestores anaeróbios	
Número	2
Regime hidráulico	Mistura completa
Tempo de retenção (35 °C)	29 dias
Diâmetro x Altura (digestor I)	8m x 6m
Diâmetro x Altura (digestor II)	12,5m x 10m
Volume total	1516,6 m ³
Teor de matéria seca, nas lamas, à saída	3,5 % MS
Bombas de recirculação de lamas	
Bombas digestor I (I+I)	75 m ³ /h, 2 bar
Bombas do digestor II (I+I)	307 m ³ /h, 2 bar
Bombas de recirculação de lamas aquecidas	
Bombas digestor I (I+I)	8 m ³ /h, 2 bar
Bombas do digestor II (I+I)	32 m ³ /h, 2 bar
Bombas de recirculação / aceleração de água	
Bomba centrífuga (2+I)	16 m ³ /h, 8 m.c.a

O funcionamento destes órgãos bem como dos equipamentos associados ao aquecimento das lamas, produção e armazenamento de biogás serão alvo de maior atenção no capítulo 6.

De notar que só um dos digestores se encontra em funcionamento.

Edifício de Desidratação de Lamas

Neste edifício está alojado todo o equipamento de desidratação de lamas. As lamas digeridas apresentam um teor de MS de aproximadamente 2,5%, para obter maior % de MS a lama é prensada num filtro de bandas.

A alimentação ao filtro de bandas é feita a partir do digestor, pela linha de descarga de fundo por intermédio de dois grupos de bombagem.

Posteriormente, a lama é misturada com uma solução de polielectrólito. Depois de juntar as lamas com o polielectrólito, a mistura é introduzida numa câmara equipada com agitador vertical. Após a floculação, as lamas vão para uma tela, onde são uniformemente distribuídas e sujeitas a desidratação.

A lama desidratada é posteriormente armazenada num silo de armazenamento de lamas.

As águas de lavagem e as escorrências do funcionamento do filtro de banda vão graviticamente para as caleiras e afluem ao poço de escorrências, sendo enviadas por bombagem para a câmara de repartição dos decantadores primários.

Tabela 14 – Características da desidratação.

Filtro Banda	
Número	1
Capacidade máxima	370 Kg/h
Largura da banda	2,0 m
Teor de matéria seca, nas lamas, à saída	18 a 22% MS
Unidade de preparação e dosagem de polielectrólito	
Tipo	Automática
Capacidade	1140 L/dia
Silo de polielectrólito	0,2 m ³
Volume útil	1,16 m ³
Bombas doseadoras	0,08 L/s

Edifício de Compressores

Este edifício aloja o sistema de compressão de ar necessário às operações de arejamento para o desarenador/desengordurador, para o tanque de arejamento e para o concentrador de gorduras, incluindo o respetivo quadro elétrico de comando.

Os portões estão equipados com atenuadores acústicos que associados a sistemas de diferenciais / nono carris que permitem a fácil instalação ou desmontagem dos equipamentos mais pesados.

Desodorização

Nos edifícios da desidratação de lamas, edifício do cogerador, edifício da caldeira/permutadores de calor e junto aos espessadores, existe um sistema de aspiração dos odores, visto tratar-se de zonas com intensa libertação de odores.

O ar aspirado nas zonas referidas é sujeito a um tratamento para remoção do ácido sulfídrico e de outros compostos inorgânicos como o amoníaco, e ainda para remoção de compostos orgânicos oxidáveis como os mercaptanos e ácidos orgânicos. A torre de desodorização tem um filtro de carvão ativado em polyester reforçado em fibra de vidro. Os locais são mantidos continuamente em depressão, de forma a evitar a difusão do ar contaminado para a atmosfera circundante. O quadro seguinte resume as condições de funcionamento do sistema de desodorização. O caudal teórico de ar aspirado é de cerca de 14.360 m³.h-1.

Tabela 15 – Características da desodorização

Sistema de desodorização	
Capacidade	14.360 Nm ³ /h
Composição	Ar+H ₂ S+CH ₃ SH+(CH ₃) ₂ S+(CH ₃) ₂ S ₂
Concentração de contaminantes	Max. 15 mg/Nm ³ /h
Filtro de carvão	
Materiais	Resina estervínlica fibra de vidro
Reforço mecânico	Resina ortoftálica fibra de vidro
Diâmetro	3.000 mm
Altura total	2.600 mm
Carvão activado	eurocard
Quantidade	5.745 kg
Densidade aparente	500 kg/m ³
Granulometria	3 a 6 mm
Número de leitos	2
Ciclo entre cada regeneração	8640 hrs
Líquido de regeneração	Soda Cáustica
Ventilador	
Material em contacto com o fluido	Polipropileno
Pressão total	1.600 Pa
Caudal de ar	15.000 m ³ /h

Edifício de Resíduos

Armazena-se neste edifício todos os resíduos perigosos. Faz-se também o armazenamento de tintas necessárias à reabilitação das instalações, também as tintas estão devidamente acondicionadas sobre uma tina de retenção.

Atualmente, a ETAR de Bragança está licenciada para o armazenamento de resíduos de outras instalações na ETAR. Alvará de Licença n.º 62/2008, emitida pela CCDRN.

Edifício de Energia e Gasómetro

Neste edifício encontram-se localizados os equipamentos necessários para o aquecimento de lamas, bem como o sistema de cogeração.

O biogás produzido na digestão anaeróbia é armazenado no gasómetro e reaproveitado, por um lado como fonte energética da caldeira, por outro, como fonte de produção de energia elétrica, por cogeração, para uso interno da ETAR.

Por razões de segurança, previu-se uma chaminé para queima de gás em excesso, com capacidade acima da produção diária. Existe também um depósito para o armazenamento de gasóleo com a capacidade de 10 m³ e um grupo de pressão de alimentação de gasóleo aos balcões de 25 l.h⁻¹

Tabela 16 – Características do motogerador e gasómetro e tocha

Motogerador / Cogrador	
Número	I
Potência unitária	180 kW
Consumo específico teórico	1300 Kcal kWh ⁻¹
Rendimento energético	35,5 %
Gasómetro	
Número	I
Volume de armazenamento	390 m ³
Tocha	
Capacidade de queima	110 m ³ /h

Todo o processo de aquecimento de lamas, produção, armazenamento de biogás, produção de energia, será descrito com mais detalhe no capítulo 6.

Edifício de Comando ou Exploração

Neste edifício encontram-se localizados o Quadro elétrico e de comando o sistema de supervisão da instalação, estão aqui também localizados, o laboratório, os gabinetes de trabalho e num compartimento isolado o gerador de emergência.

A alimentação a ETAR é efetuada através de uma PT de cabine localizada cerca da obra de entrada.

5. Controlo Analítico do Processo de Tratamento de Lamas

Para uma melhor compreensão do processo de digestão anaeróbia, é necessário conhecer as características das lamas a tratar. Desta forma apresenta-se neste capítulo os resultados obtidos laboratorialmente para diversos parâmetros de processo.

O plano analítico implementado encontra-se no anexo III e a apresentação dos resultados analítico e processuais obtidos no anexo IV.

5.1 pH

Durante três anos foi medido o pH às lamas mistas (lamas primárias e secundárias) e digeridas da ETAR de Bragança. O pH das lamas mistas apresenta um valor médio de 6,03, o que como se pode verificar na figura 7 é ligeiramente inferior aos valores de referência (6,5) fornecidos pela literatura (Metcalf & Eddy, 1979).

As lamas à saída do digestor encontram-se a um pH médio de 6.53, bastante perto da neutralidade. Na figura 8 são apresentados os valores de pH das lamas digeridas da ETAR de Bragança, relacionados com os valores de referência (7,0-7,1) fornecidos pela literatura, (Benefield et al, 1980), assim como os valores de pH das lamas mistas.

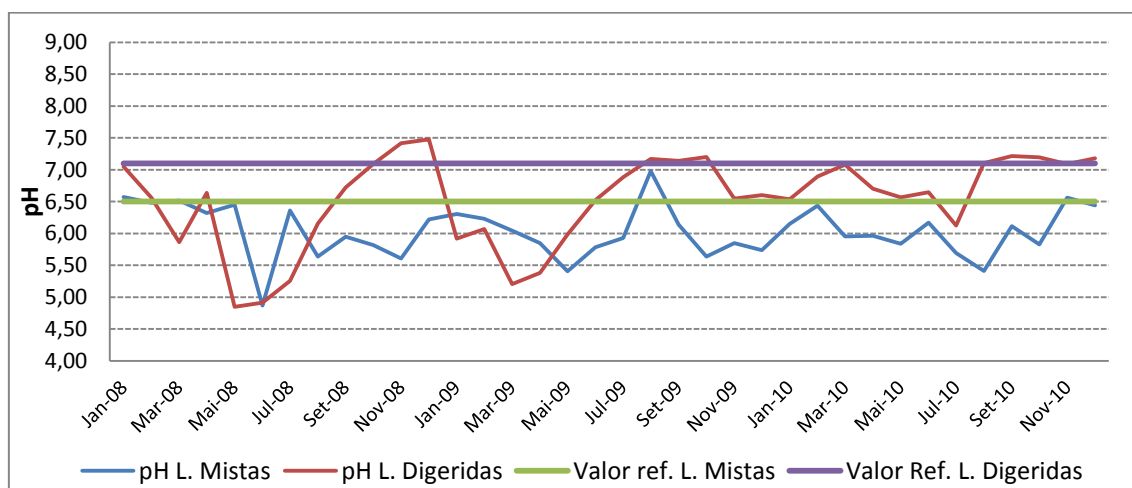


Figura 8 – Comparação dos valores de pH das lamas mistas e digeridas.

O valor de pH das lamas mistas é inferior ao que seria de esperar, sendo necessário uma monitorização mais intensa da evolução do pH no interior do digestor, para prevenir potências acidificações no processo de digestão.

O valor médio do pH das lamas digeridas encontra-se próximo dos valores de referencia, apesar de, alguma flutuações como se pode verificar na figura 8.

5.2 Temperatura

A temperatura apresenta-se como um dos fatores mais importantes no processo de digestão anaeróbia, uma que a temperatura das lamas mistas é usada como valor referencial para o cálculo das necessidades térmicas para o seu aquecimento, ou seja, quanto menor a temperatura das lamas mistas, maiores os gastos energéticos para elevar a sua temperatura para os 35 °C, necessários para a sua digestão mesófila. Na figura 9 são apresentadas as temperaturas das lamas mistas e das lamas digeridas no sistema de recirculação de lamas (mistura).

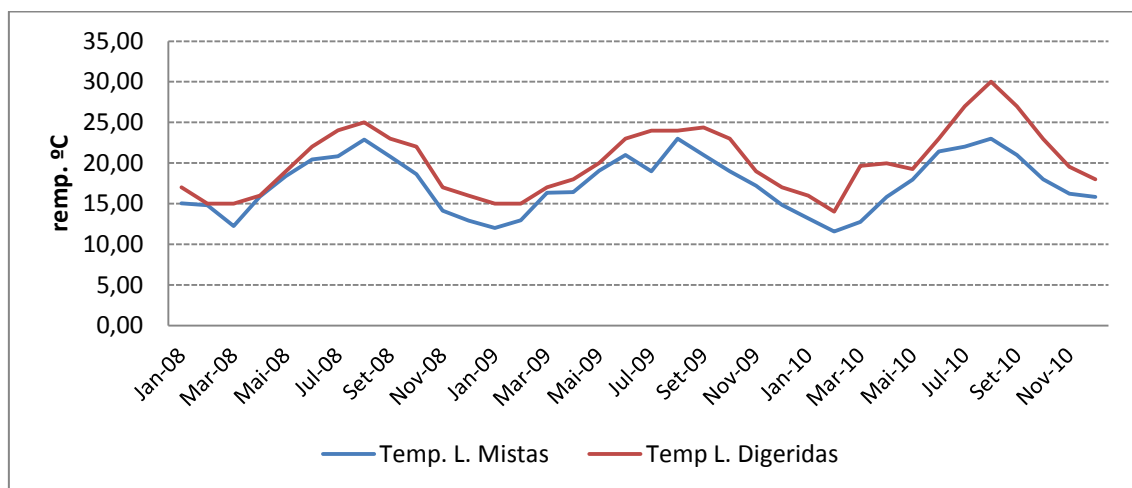


Figura 9 – Comparação dos valores de temperatura das lamas mistas e digeridas.

A temperatura das lamas mistas apresenta uma média de 17,43 °C, cerca de 17 °C abaixo do valor de digestão, no entanto, há que ter em conta que a temperatura das lamas mistas varia consoante a altura do ano, o que implica que no inverno (meses mais frios) as necessidades térmicas sejam maiores.

As lamas no sistema de recirculação apresentam um valor médio de 20,19 °C, e bastantes flutuações ao longo do tempo, o que tendo em conta que o sistema de aquecimento se encontrava em funcionamento pode ser explicado por duas situações, insuficiência no sistema de aquecimento, ou elevadas perdas térmicas no digestor. Desta forma verifica-se que as lamas estão longe da temperatura ideal para uma digestão mesófila.

5.3 Potencial Redox

Um dos parâmetros importantes na digestão anaeróbia é o potencial redox, no entanto e dado que este parâmetro não consta do plano analítico da ETAR, não é possível efectuar uma análise a este parâmetro. No entanto recomenda-se a sua implementação dada a importância do mesmo. De seguida ficam algumas considerações e valores de referência para o mesmo.

As bactérias metanogénicas são capazes de utilizar o hidrogénio produzido pelas acidogénicas, através da sua hidrogenase. Como as metanogénicas são capazes de manter uma pressão parcial de H_2 extremamente baixa, o equilíbrio da reação de fermentação é deslocado no sentido da formação de produtos finais mais oxidados (formato e acetato).

Quanto mais baixo for o potencial redutor do meio maior é a formação de tais produtos.

Desta forma recomenda-se a operação com valores de potencial redox inferiores a -350 mV (Lema et al,1992).

5.4 Alcalinidade

A Alcalinidade surge como um dos parâmetros mais importantes no arranque e operação de um digestor, uma vez esta fornece o poder tampão necessário para impedir a acidificação do digestor através de um incremento de ácidos gordos voláteis.

Um digestor operado com uma alcalinidade elevada é, em princípio, mais robusto e pode resistir mais eficazmente a mudanças repentinas de pH. É necessário, por isso, manter a alcalinidade a valores superiores a 1,5 g/L expressa em bicarbonato de cálcio, (Lema et al, 1992).

Na figura 10, estão expressos os valores de alcalinidade das lamas digeridas do digestor da ETAR de Bragança.

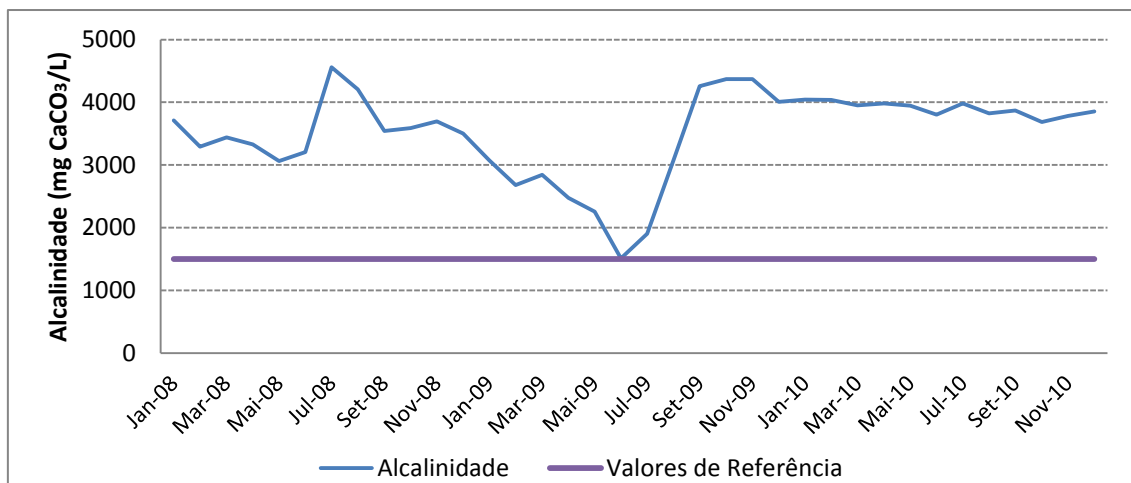


Figura 10 – Variação temporal da alcalinidade.

Como se pode observar, o digestor da ETAR de Bragança tem uma concentração de alcalinidade bastante elevada, com um valor médio de 3520 mg/L na forma de CaCO_3 encontrando-se dentro dos valores ótimos de funcionamento.

O Valor mínimo de alcalinidade presente no digestor pode ser de 1000 mg/L na forma de CaCO_3 , no entanto, este valor apresenta-se como extremo, uma vez que valores ótimos de funcionamento se encontram entre os 1500-3000 mg/L (Malinas et al, 1992), ou entre 2000 a 3500 mg/L como CaCO_3 (Benefield et al, 1980), sendo o valor de 1500 mg/L como CaCO_3 , o valor referenciado como valor mínimo para um funcionamento normal do digestor.

5.5 Acidez Volátil

A produção de ácidos gordos voláteis é um passo importante no processo de digestão anaeróbia, dado que serão estes que serão convertidos em metano e dióxido de carbono, o controlo e monitorização da acidez volátil é de extrema importância porque indica a estabilidade do sistema, podendo ser indiciador de perturbações no mesmo, como seja a acidificação do sistema e a consequente descida do pH.

Dependendo dos autores o intervalo ótimo para a presença de ácidos no sistema pode variar entre valores de 2700 a 6800 mg/L como ácido acético, (Kiely, 1996) e entre 50 a 500 mg/L como ácido acético (Malinas, 1992).

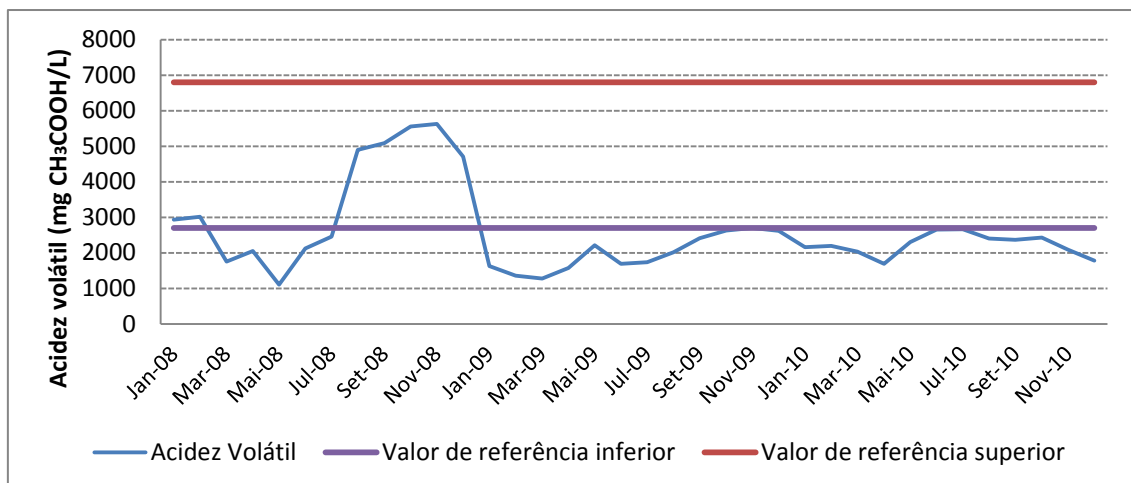


Figura 11 – Variação temporal da concentração de acidez volátil.

Como se verifica na figura 11, apesar de alguma flutuação no ano de 2008, a concentração de ácidos gordos voláteis tem-se mantido estável embora ligeiramente abaixo do pretendido.

5.6 Sólidos Totais e Voláteis

A digestão anaeróbia é um processo de redução de sólidos orgânicos, sendo importante a concentração em sólidos das lamas mistas à entrada. Um espessamento insuficiente levaria ao subaproveitamento do volume útil do digestor e ao enfraquecimento da população microbiana por falta de substrato. As lamas à entrada do digestor devem ter uma concentração em percentagem de sólidos totais de 4,6 a 9,0% (Metcalf & Eddy, 1972).

A percentagem de sólidos voláteis nas lamas mistas corresponde a porção potencialmente biodegradável durante o processo de digestão, sendo frequente encontrar uma percentagem de 65% a 70% de sólidos voláteis na maioria das lamas não tratadas, (Benefield et al, 1980).

No caso das lamas digeridas o valor de concentração em percentagem de sólidos totais à saída situa-se entre 6 a 8%, sendo 50% de sólidos voláteis um valor considerado satisfatório (Malinas et al, 1992).

Na figura 12 são apresentados os valores de concentração em percentagem de sólidos totais das lamas mistas a entrada do digestor.

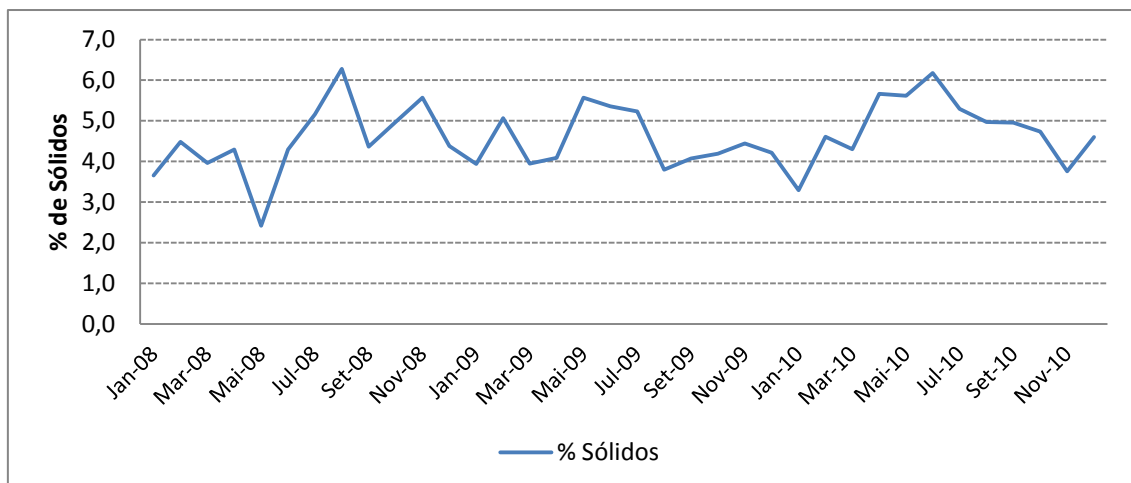


Figura 12 – Variação temporal da concentração em sólidos nas lamas espessadas.

As lamas mistas apresentam uma concentração média de sólidos de 4,6%, encontrando-se dentro do intervalo supramencionado, apesar das flutuações inerentes as rotinas de funcionamento da ETAR, nomeadamente periodicidade de extração de lamas mistas e frequência de purga de lamas secundárias.

Na figura 13 apresenta-se a concentração em percentagem de sólidos voláteis nas lamas mistas espessadas.

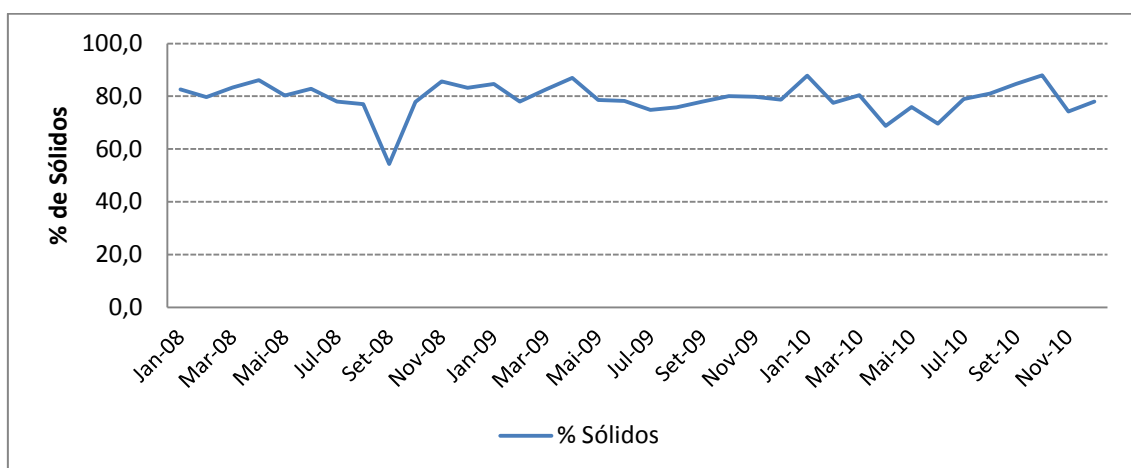


Figura 13 – Variação temporal da concentração em sólidos voláteis nas lamas espessadas.

O valor médio de concentração de sólidos voláteis nas lamas mistas é de 79,2%, valor este que se encontra acima do intervalo definido pela literatura.

A concentração de saída das lamas do digestor indica o grau de digestão a que estas foram sujeitas. Na figura 14, apresentam-se as concentrações em sólidos das lamas digeridas.

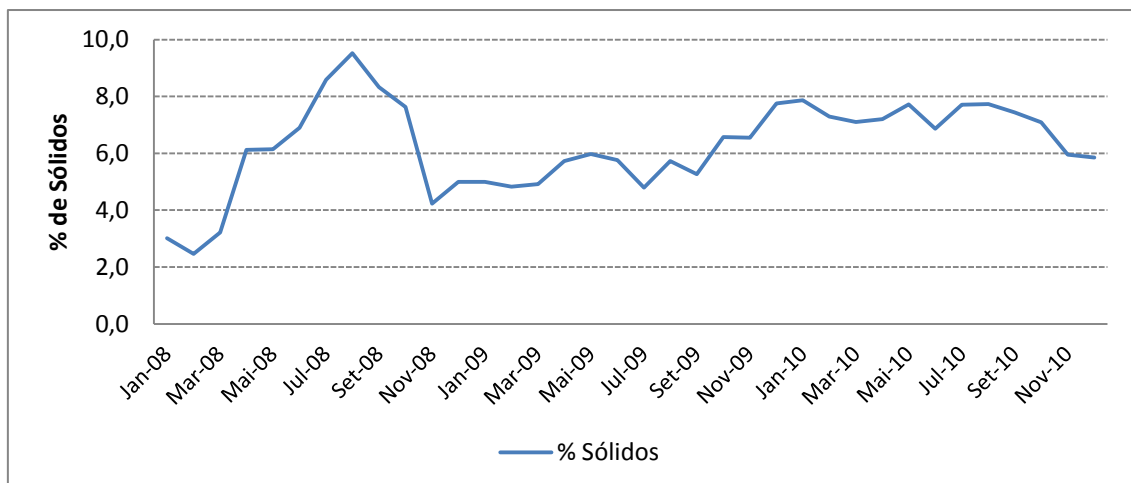


Figura 14 – Variação temporal da concentração em sólidos nas lamas digeridas.

As lamas digeridas apresentam uma concentração média de 6,3% de sólidos totais, valor que se encontra dentro do intervalo esperado. Como se pode verificar no gráfico da figura 14, o valor da concentração, após algumas flutuações iniciais, apresenta-se estável indicando um bom funcionamento do equipamento.

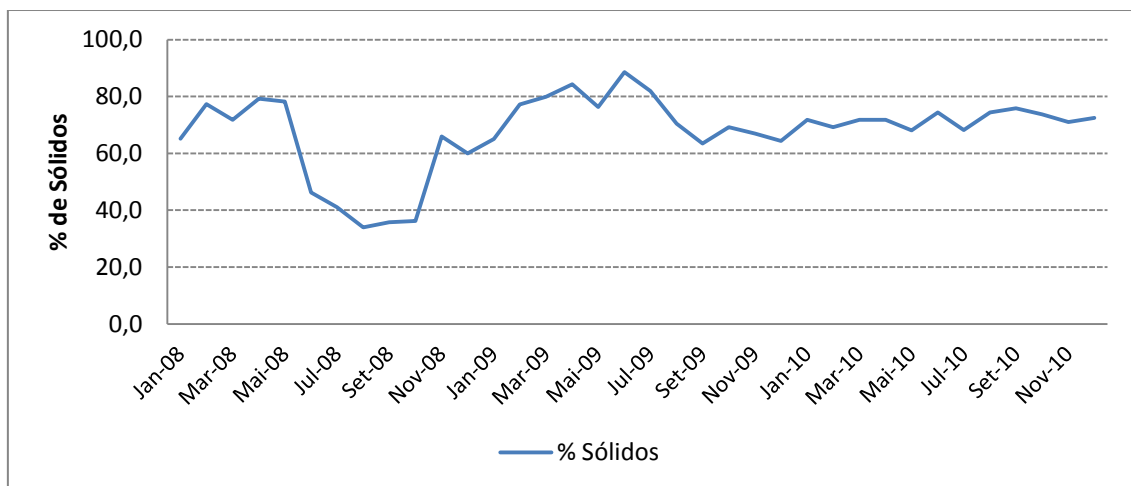


Figura 15 – Variação temporal da concentração em sólidos voláteis nas lamas digeridas.

A média de sólidos voláteis à saída dos digestores é de 67,8%, o que indica que o processo está a decorrer normalmente, no entanto, ainda margem para maximização do processo, embora exista uma clara redução de sólidos voláteis no processo de digestão anaeróbia.

6. Sistema de Tratamento de Lamas

6.1 Descrição Geral

A estação elevatória de lamas mistas recebe as lamas primárias e as lamas biológicas em excesso que são elevadas para os dois espessadores de planta circular existentes, onde por bombagem e após espessamento são enviadas para o digestor (só se encontra um em funcionamento), aquecido, funcionando na gama de bactérias mesófilas a cerca de 35 °C.

As lamas espessadas bombeadas para o digestor, entram pela parte superior do mesmo de forma lateral.

O sistema de recirculação é constituído por 2 grupos eletrobomba de recirculação interna junto a cada digestor, este sistema tem como objetivo homogeneizar o conteúdo do digestor.

As lamas, assim misturas, circulam por bombagem através de um permutador de calor, que eleva a temperatura até um valor de cerca de 36°C, entrando depois no digestor na parte superior mas oposta a entrada de alimentação.

O aquecimento de lamas é efetuado através de dois grupos eletrobomba que tem como função o encaminhamento das lamas para os permutadores (1 por digestor) tubulares água/lama em sentido contracorrente.

O equipamento de aquecimento é constituído por uma caldeira, um permutador de calor de duplo efeito funcionando em contracorrente e por dois circuitos de água quente com 4 eletrobombas de recirculação e uma válvula motorizada comandada por termóstato que controla a variação do caudal de água quente e a temperatura.

Os sobrenadantes e escumas que se acumulam na parte superior do digestor podem ser extraídos por uma válvula telescópica, tendo esta duas funções, uma a retirada de escumas e sobrenadantes, mas também determinar a altura da lâmina líquida dentro do digestor.

A quantidade de lamas introduzidas e retiradas do sistema, bem a quantidade de lamas contidas dentro do digestor é feita por balanço hídrico e mássico.

As lamas digeridas, recolhidas no fundo cónico do digestor, são desidratadas em filtro de bandas e armazenadas num silo de 15m³.

O gás produzido é armazenado num gasómetro de 390m³, antes da chegada ao mesmo o gás é filtrado por dois filtros em série.

O gás é utilizado para alimentar a caldeira e um motogerador com capacidade de 150KWe.

Existe também uma tocha que é utilizada para queimar gás em excesso ou quando o mesmo não tem qualidade suficiente para a queima nos equipamentos referidos.

Referir que existem também um depósito para diesel de 10m³ que alimenta também a caldeira em caso de insuficiência de biogás ou menor qualidade do mesmo.

Todos estes equipamentos com exceção do gasómetro, tocha e depósito de diesel, estão concentrados num único edifício denominado de “Edifício de Energia”.

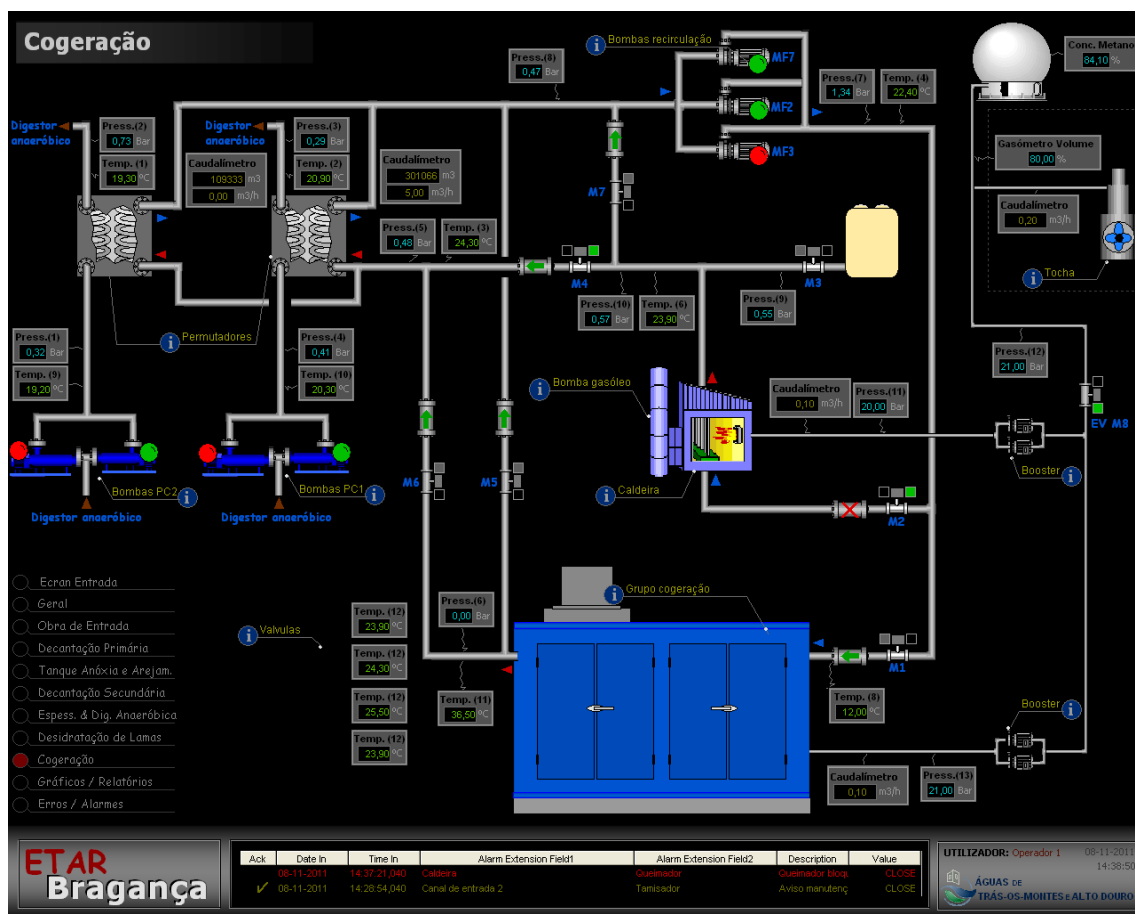


Figura 16 – Esquema de aquecimento dos digestores.

6.2 Digestor

A digestão de lamas standard é um processo de uma só etapa. As funções de digestão, espessamento e formação de sobrenadante são executadas num só órgão e simultaneamente como ilustrado na figura 17.

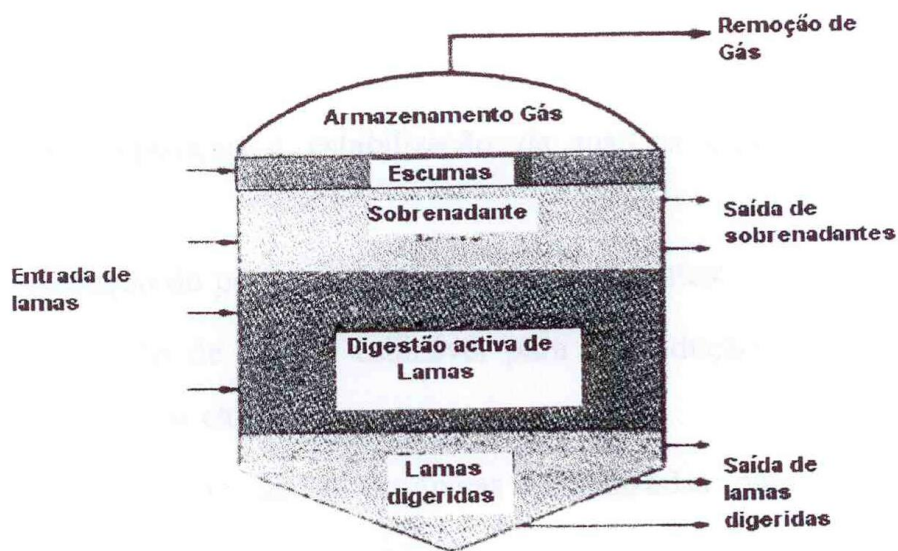


Figura 17 – Estratificação de um digestor anaeróbio (adaptado de Benefield, 1980).

As lamas mistas são adicionadas na zona de digestão ativa e onde o gás está a ser libertado. As lamas mistas e uma porção de lamas recirculadas são aquecidas por um permutador de calor externo.

À medida que o gás sobe, arrasta para a superfície pequenas partículas de lamas, óleos e gorduras, que vão formar as escumas.

Assim a estratificação apresentada na figura 17 surge como consequência direta do processo de digestão anaeróbia.

Qualquer digestor é um reator trifásico, figura 18, em que interatuam as diferentes fases, havendo trocas recíprocas de substratos e produtos, (Alves et al, 1995).

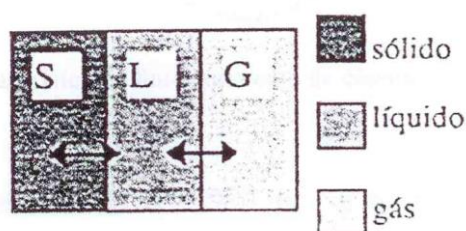


Figura 18 – Esquema das interações entre as várias fases de um digestor (adaptado de Alves et Al, 1995).

O digestor tem como objetivos principais:

- Decomposição e estabilização da matéria orgânica transportada nas lamas;
- Redução do peso e volume das lamas afluentes;
- Obtenção de biogás utilizável para produção de energia elétrica e térmica, na caldeira;
- Obtenção de lamas orgânicas estabilizadas para condicionamento e fertilização de solos agrícolas;
- Destruição e/ou controlo de microrganismos patogénicos transportados pelas lamas.

O volume útil de digestão é de $V=1083 \text{ m}^3$, num volume efetivo de 1227 m^3 , correspondendo a um cilindro com 10 m de altura e 12,5, m de diâmetro, tendo um fundo cónico com 2,0 m.

O cálculo da quantidade de lamas a tratar será efetuado utilizando dados obtidos através do controlo analítico e dos valores extraídos do registo de operação da ETAR de Bragança.

Na tabela 17 são apresentadas a produção de lamas atual e a produção de lamas previstas para o ano horizonte de projeto.

Tabela 17 – Comparação da produção de lamas para horizonte de projeto e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).

	Horizonte de Projeto (2031)	Anos de 2008 a 2010
Quantidade de ST	4065 Kg/d	4696 Kg/d
Quantidade de SV	3552 Kg/d	1630 Kg/d
Lamas que escapam pelo decantador secundário	170,55 Kg SST/d	74,19 Kg SST/d
Concentração das lamas mistas	5,3%	4,6%
Volume de lamas totais	$79 \text{ m}^3/\text{d}$	$59,7 \text{ m}^3/\text{d}$
Caudal afluente	$5.685 \text{ m}^3/\text{d}$	$4.946 \text{ m}^3/\text{d}$

Como se pode verificar pela tabela 17 a produção de lamas verificada durante o período temporal considerado para esta análise foi substancialmente menor que os valores de projeto, o mesmo se verificando nos caudais de projeto.

6.3 Estação Elevatória de Lamas Aquecidas

Esta estação elevatória destina-se a reticular as lamas do digestor pelo permutador de calor.

A estação elevatória dispõe de dois grupos de bombagem de eixo horizontal, sendo um de reserva.

Cada grupo individualmente tem um caudal de 6,5m³/h a 20 metros, funcionando com bons rendimentos entre os 15 e os 20 metros.

Os motores são trifásicos de 5,5 kW, estanques do tipo blindado cobrindo uma folga de 20% a potencia absorvida pela bomba no ponto de funcionamento mais desfavorável.

A tubagem instalada até o digestor é de ferro fundido flagelado (DN 150), diâmetro idêntico ao da tubagem de aspiração comum que tem também um diâmetro de 150mm. AS válvulas são do tipo charneira com avalanche exterior, sendo o corpo em ferro fundido flangeado.

A Estação elevatória está colocada dentro do edifício de apoio ao digestor.

A tubagem está isolada com lã de vidro e cobertura em folha zincada.

6.4 Estação Elevatória de Mistura

Esta estação elevatória destina-se a recircular o conteúdo do digestor, de forma a prover a mistura das lamas.

Dispõe de dois grupos de bombagem de eixo horizontal sendo um de reserva.

Cada grupo individualmente tem um caudal de 307 m³/h a 20 metros, funcionando com bons rendimentos entre os 15 e 20 metros.

Os motores são trifásicos de 37 kW, estanques do tipo blindado cobrindo uma folga de 20% a potencia absorvida pela bomba no ponto de funcionamento mais desfavorável.

A tubagem instalada é de ferro fundido flagelado (DN 300) revestida por uma proteção térmica composta por lã de vidro. AS válvulas são do tipo charneira com avalanche exterior, sendo o corpo em ferro fundido flangeado.

A Estação elevatória está colocada na base do digestor.

6.5 Equipamento de Aquecimento e Recirculação de Água

O sistema de aquecimento destina-se a manter uma temperatura constante de cerca de 35°C, no interior do digestor, fornecendo a energia térmica necessária para o aquecimento das lamas e para as compensações das perdas de térmicas para o ambiente.

O aquecimento é efetuado num permutador de calor de carcaça e tubos, de duplo efeito, onde circulam lamas e água contracorrente.

O período do ano em que as necessidades térmicas são maiores coincide com os meses de Novembro a Março, para efeitos de cálculo são usados os valores das temperaturas mínimas médias anuais.

Admitem-se os valores de temperatura seguintes:

Lamas - 17°C

Ar - 5°C

Solo - 10°C

O Calor necessário para o aquecimento das lamas resulta:

$$Q = Q \cdot h \cdot (T_d - T_l)$$

Sendo:

T_l - Temperatura das lamas

T_d – Temperatura do processo

Q – Caudal de lamas m³/d

h - calor específico das lamas

$$Q = 59,7 \times 1000 \times (35 - 17) = 1074600 \text{ kcal/d} = 44775 \text{ kcal/h}$$

Admite-se que o calor específico das lamas seja igual ao da água, o que corresponde a uma hipótese ligeiramente conservativa.

A quantidade de calor perdida através das paredes laterais, cobertura e soleira são:

CR – Paredes, cobertura e fundo = $522 \times 781,2 \times (35-5) \times 24 = 293606 \text{ kcal/d} = 12234 \text{ kcal/h}$

Usando como referência os seguintes coeficientes de transmissão de temperatura:

- Superfície em contacto com o ar e fundo – $781,2 \text{ cal /}^\circ\text{C/m}^2/\text{h}$

Assim quantidade de calor necessário par aquecer as lamas afluentes e compensar as perdas por radiação são:

1368206 Kcal/d ou 57009 kcal/h

A transferência de calor entre a água proveniente da caldeira e as lamas a aquecer realiza-se num permutador de calor de carcaça e tubos, de duplo efeito, passando as lamas pelos tubos interiores e circulando a água na carcaça externa, em contracorrente.

O Coeficiente de troca térmica que se adota é igual a $900 \text{ Kcal/m}^2/\text{h}/^\circ\text{C}$.

A área de troca térmica no permutador é igual a 7 m^2 .

As temperaturas de entrada e saída da água de aquecimento são 70°C e 50°C respetivamente.

A temperatura de saída das lamas, após o aquecimento no permutador é fixada em 36°C , enquanto a temperatura de entrada é variável, sendo no máximo, igual a 31°C .

A média logarítmica das temperaturas no permutador é:

$\text{DTLM} = ((70-35)-(50-31))/(\ln(70-35)/\ln(50-31)) = 26,2 \text{ }^\circ\text{C}$

A quantidade de calor transferida resulta:

$Q = A \times U \times (\text{DTLM}) = 7 \times 900 \times 26,2 = 165060 \text{ Kcal/h}$

Onde:

A – Área de troca térmica

U – Coeficiente de troca térmica

DTLM – Média logarítmica das temperaturas no permutador

O caudal de lamas a recircular na situação mais desfavorável é de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

O caudal de água a recircular máximo é de $15,2 \text{ m}^3/\text{h}$

O caudal de água a recircular no permutador resulta:

$$Q = Q_a * h * (T_e - T_s)$$

Sendo:

Q= Necessidades térmicas totais

T_e = Temperatura de entrada da água no permutador

T_s = Temperatura de saída da água no permutador

h = o calor específico das lamas

O permutador em resumo funciona em regime de contracorrente com as seguintes características:

- Temperatura máxima de entrada da água de aquecimento: 70 °C;
- Temperatura de saída da água de aquecimento: 70;
- Temperatura de entrada das lamas: 31°C;
- Temperatura de saída das lamas: 36°C;
- Caudal de água quente máximos: 15,2 m³/h;
- Área aproximada de troca térmica: 7 m²;
- Caudal de lamas: 6,5 m³/h;
- Material: Aço Galvanizado;
- Tipo: contracorrente, 1-2.

6.6 Caldeira e Queimador

O sistema de aquecimento das lamas é equipado com uma caldeira dotada de queimador de biogás ou diesel, caldeira de água quente, tem uma capacidade de 200000 Kcal/h, em condições de utilização do biogás e é adequado para funcionar com uma pressão mínima de 3 Kg/cm², que é garantida por um compressor centrífugo.

Tem corpo em chapa de aço, de espessura adequada, porta antifogo, chaminé e está dotada de dispositivos de segurança contra o excesso de pressão e temperaturas máximas, porta anti explosão e outros dispositivos exigidos pela legislação em vigor.

O queimador para gases é do tipo adaptável a qualquer mistura gasosa, do tipo "on-off".

Está equipado com ventilador, motor, válvula de controlo do ar, injetor, eléctrodo, transformador e todos os acessórios necessários para o seu correto funcionamento. Na conduta de gás está colocada uma válvula de fecho automático e retentor de chamas.

O queimador tem igualmente capacidade para fornecer, no mínimo, 200 000 Kcal/h de energia térmica, utilizando biogás com 60 % de metano.

Todos os comandos e controlos relacionados com a caldeira e o queimador estão instalados num pequeno quadro eléctrico.

6.7 Circuito de Água Quente

O circuito de aquecimento deve permitir transferir o calor necessário às lamas, em situações de maiores necessidades térmicas.

É constituído por dois circuitos de aquecimento interligados, de modo a permitir a regulação independente do fluxo térmico e a limitar a temperatura máxima, à entrada do permutador (70°C).

Os órgãos que constam deste circuito são:

- 2 Bombas de água quente que movimentam a água no circuito primário (Caldeira), sendo um de reserva;
- 2 Bombas de água quente que movimentam a água no circuito secundário (Permutador), sendo um de reserva;
- 1 vaso de expansão pressurizado;
- 1 Válvula automática para a regulação de caudal;
- Purgadores de ar colocados nos pontos altos;
- Válvulas de segurança contra as pressões máximas;
- Manómetros;
- Válvulas de fecho e de retenção.

A regulação da temperatura é efetuada a partir de dois sensores de temperatura, um colocado na tubagem das lamas aquecidas e outro na recirculação do digestor, sendo ambos ligados a um controlador de banda proporcional.

Este controlador atua sobre a válvula motorizada da água de aquecimento, modulando o valor da temperatura das lamas que entram para o digestor, de acordo com o valor medido pelo respetivo medidor-indicador e o valor selecionado pelo próprio controlador.

O sensor colocado na tubagem de recirculação de lamas (mistura) fornece informação ao controlador sobre o valor de temperatura que nele existe, permitindo que o sistema de controlo selecione a temperaturas lamas em recirculação, entre os limites de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, de modo a atenuar as oscilações de temperatura no digestor.

As bombas de circulação de água são dotadas de manómetros.

Para eliminar a variação de volume do circuito por efeito da elevação da temperatura existe um vaso de expansão pressurizado com cerca de 100 l de volume e uma pré-carga de 1 bar.

6.8 Produção de Gás e Armazenamento

Para a determinação da produção de gás admite-se que, nas condições de funcionamento do processo, se gerem 0,75 a 1 m³ por Kg de sólidos voláteis destruídos. A quantidade diária de sólidos voláteis nas lamas mista é de 1630 Kg, assumindo uma percentagem de destruição de SV de 45% e a geração de 0,75 m³ de gás por Kg de SV destruído, a produção de gás será:

Produção de Gás= 550 m³ /dia

O poder calorífico do gás é de 5600 Kcal/m³.

A energia total disponível resulta assim igual a $3,1 \times 10^6$ Kcal/dia.

O gás é armazenado num gasómetro de dupla membrana com cerca de 9,1 m de diâmetros x 7 m de altura a partir do fundo, de 390 m³ com uma capacidade de armazenamento sobre a produção diária de gás de 1,41 d.

6.9 Cogenerator

Com o objetivo de recuperar toda a energia inerente ao biogás produzido nos digestores, foi instalado um grupo cogenerator CES170M de 180 kW. Recomenda-se que o grupo de cogeração funcione como consumidor primário do biogás disponível, contribuindo para o aquecimento das lamas a energia térmica proveniente do arrefecimento do grupo, ou seja, da refrigeração do motor e do óleo de lubrificação do grupo. O sistema de refrigeração primário do bloco do motor e do óleo de lubrificação é garantido pela permutação do calor com água que está interligado com o circuito de aquecimento das lamas e com o circuito secundário de emergência de dissipação de calor para a atmosfera. Recomenda-se, ainda, o aproveitamento

da energia térmica disponível nos gases de escape como fonte de calor complementar para o aquecimento das lamas, maximizando o balanço térmico e energético da instalação.

Desta forma, com a cogeração a funcionar, poder-se-á minimizar o consumo de biogás na caldeira para aquecimento de água e lamas, e maximizá-lo na produção de energia elétrica nas horas de ponta e de cheia.

Para o caso de não haver biogás suficiente para a cogeração, como acontecerá no arranque da instalação, existe uma caldeira com a capacidade calorífica total - 200 000 Kcal/h - para aquecimento dos dois digestores, que poderá trabalhar com biogás ou com gasóleo. Existe um depósito para o armazenamento de gasóleo com a capacidade de 10 m³ e um grupo de pressão de alimentação de gasóleo aos balcões de 25 l/h.

6.10 Purificação do Biogás

O equipamento para purificação do gás é constituído por um filtro com brita que serve para a desidratação do gás biológico, bem como para evitar o retomo de chamas. A brita tem uma granulometria de 30 - 50 mm e 60 - 80 mm. O filtro é de aço protegido contra a corrosão, mediante zincagem a quente. É equipado com um sifão para remoção automática da água em excesso. As ligações são do tipo flangeado. O caudal máximo de gás é de 200 m³/h.

Seguido de um segundo filtro de iguais características com cerâmica, que retém partículas superiores a 20 µ.

Também este recipiente é em aço protegido contra a corrosão por zincagem a quente e têm tubagem sifonada para expurgo da água em excesso.

6.11 Tocha

Por razões de segurança existe uma tocha para queima de gás em excesso com uma capacidade de queima de 100m³/h, este equipamento tem dupla função, por um lado a queima de gás produzido em excesso, por outro lado a queima de gás com qualidade inferior e cuja percentagem de metano não permite a sua queima na caldeira e ou no motogerador.

7. Operação de Digestores

7.1 Arranque do Digestor

Entende-se por arranque do sistema, o período de tempo compreendido entre o início de operação das instalações e equipamentos, e a obtenção de um estado estacionário que satisfaça as necessidades de tratamento de lamas mistas da estação de tratamento.

O arranque do digestor é o período inicial durante o qual se incrementa progressivamente a carga orgânica afluyente até alcançar o valor de projeto. Se não for possível alcançar os valores de projeto, procede-se levando a cabo um aumento progressivo da carga orgânica afluyente, até que se verifique uma diminuição na eficácia do sistema (Soto et al, 1991).

O período de arranque é uma etapa crítica, relativamente lenta, que frequentemente determina a eficácia da operação posterior do digestor (Lema, 1987).

O primeiro fator a ter em conta é o de dispor de uma massa de microrganismos suficiente (pelo menos 10% em volume é a proporção recomendada) e se for possível adaptada ao substrato. Para aumentar a população viável convém manter condições que favoreçam o crescimento microbiano, prestando especial atenção aos nutrientes. Por isto é necessário um correto controlo dos parâmetros físico-químico.

Em seguida são enumerados alguns passos e procedimentos a ter em conta no arranque do digestor:

- Aquecer o digestor a uma temperatura de 35°C;
- Manter o pH das lamas entre 6.8 e 7.2 -a adição de cerca de 8 kg de cal/dia por cada 1000 habitantes até que o pH estabilize em 6.8;
- Fazer a alimentação de lamas de uma forma tão regular quanto possível, que corresponda apenas a cerca de 30% da carga nominal normalmente introduzida numa instalação de alta carga;
- Iniciar as descargas de lamas a partir do momento em que a concentração de matéria seca nas lamas no digestor atinja um valor mínimo de 25 g/l;
- Medida da alcalinidade, que deve ser sempre superior, em equivalência, ao teor de ácidos voláteis, para permitir manter um poder tampão suficiente a uma boa estabilização do processo de digestão.

Durante a operação de um digestor anaeróbio aquecido, há alguns dados que devem ser registados e controlados:

- Quantidade de matéria seca introduzida diariamente no digestor;
- Volume diário de gás produzido;
- % de redução de matéria volátil.

7.1.1 Teste do Equipamento

Em primeiro lugar, é imprescindível que o digestor e respetivas condutas sejam completamente estanques, impossibilitando qualquer infiltração ou fuga das fases líquida e gasosa. No que diz respeito à fase líquida, deverá realizar-se um teste hidráulico com água de processo, fazendo-a passar por todo o circuito de lamas. Numa segunda fase, passar-se-á ao teste da linha de gás. Neste campo, uma das opções mais utilizadas é o teste de fumo, que permite inspecionar visualmente a existência de fugas.

Em termos de equipamentos, e das instalações da linha de tratamento de lamas, a colocação da flare é indispensável para avaliar a quantidade e qualidade do gás produzido. Esta indicação será de extrema utilidade no decorrer do arranque do processo, permitindo fazer os ajustes necessários aos tempos de residência programados, permitindo ainda avaliar a situação global de produção de metano e das vias metabólicas e microrganismos dominantes. Na linha de gás é ainda necessário substituir e ou reparar as válvulas de retenção e de corta-chamas, situadas no topo do digestor, onde se faz a recolha do gás produzido, para que se possa operar o sistema em segurança.

Mesmo para um arranque a frio, é importante que o quadro elétrico se encontre concluído e funcional, uma vez que a homogeneização dos conteúdos do digestor, faz-se exclusivamente através do mecanismo de recirculação de lamas. Completando o referente aos equipamentos, todos devem ser testados antes de se iniciar a sua utilização em condições normais de operação.

7.1.2 Inoculo Microbiano

Muitas opiniões convergem no sentido da utilização de um inoculo anaeróbio para minimizar o tempo de arranque, no entanto, a inoculação com lamas mistas ou mesmo biológicas,

apresenta várias vantagens na situação particular da ETAR de Bragança. A primeira dessas vantagens é a simplicidade da operação, não requerendo quaisquer meios para além dos já existentes na estação. Por outro lado, sabendo-se que o oxigénio é inibidor dos processos anaeróbios, e que em mistura com metano pode atingir proporções explosivas, a utilização de um inoculo com uma população aeróbia bem desenvolvida permite que, numa fase inicial, o oxigénio disponível no interior do digestor seja consumido.

Só após esta fase, estarão reunidas as condições para que os microrganismos anaeróbios se desenvolvam acabando por dominar a atividade microbiana. Mesmo depois do desenvolvimento destas comunidades, existem na sua constituição estirpes microbianas anaeróbias facultativas, isto é, capazes de consumir alternativamente oxigénio, cuja função é exatamente a remoção de eventuais traços de oxigénio presentes no meio fermentativo. Vários digestores anaeróbios fechados têm entrado em funcionamento sem que a questão da existência inicial de oxigénio se mostrasse relevante.

7.1.3 Alimentação do Digestor

Uniformidade e consistência são as palavras-chave na operação de digestores anaeróbios. Qualquer mudança súbita no volume e concentração de sólidos, temperatura e material tóxico ou na taxa de alimentação de lamas irá colocar a digestão sob stress e diminuir a eficiência. A periodicidade de alimentação deverá ser contínua e vinte e quatro horas por dia. No entanto nas estações de tratamento existentes não existem dispositivos que permitam a alimentação contínua, assim, deverá optar-se por dividir uniformemente a alimentação durante o dia.

Uma concentração elevada do substrato permite realizar o processo de crescimento mais rapidamente. Por isso na etapa de arranque é recomendado realizar a alimentação, quando as condições o permitam, por cargas, já que isto permite manter a concentração mais alta que uma alimentação continua (Soto et al, 1991).

Dois critérios podem determinar a capacidade dos digestores o tempo de retenção hidráulico e a taxa de alimentação de SSV. Estes critérios determinam a quantidade de alimento que os microrganismos têm para estabilizar e o tempo necessário para o fazer. Para uma alimentação com uma concentração de sólidos inferior a 3%, o tempo de retenção hidráulico é o que limita a taxa de alimentação. A concentrações superiores a 3%, quer o tempo de retenção quer a taxa de alimentação de SSV podem afetar a capacidade de digestão.

Para um digestor, bem controlado, o tempo de retenção hidráulico, tipicamente varia de 15 a 20 dias, alguns podem mesmo operar com tempo de retenção hidráulico de 10 dias. Com menos de 10 dias de tempo de retenção hidráulico, as bactérias metanogénicas não podem reproduzir-se à mesma velocidade com que são removidas, a lenta velocidade de crescimento destas bactérias implica períodos de arranque elevados (Lema et al, 1992). Baixos tempos de retenção também reduzem a capacidade tampão do sistema, ou seja, a capacidade de tamponar os ácidos gordos voláteis.

Estes pressupostos devem ser adaptados ao caso particular da ETAR da Bragança, dado que as condições e características das lamas produzidas não são facilmente manipuláveis. Na tabela 18 são apresentadas as características mais relevantes das lamas de alimentação.

Tabela 18 – Características das lamas de alimentação ao digestor

Caudal	59,7 m ³ /d
Sólidos Totais	4696 Kg ST/d
Sólidos Voláteis	1630 Kg SV/d
Concentração em Sólidos Totais	4,6%

Para a produção de lamas da ETAR de Bragança o esquema de alimentação que mais se aproxima ao teoricamente desejado, de forma a fazer uma operação equilibrada do equipamento está apresentado na tabela 19, que resume os parâmetros de operação do digestor na fase de arranque.

Tabela 19 – Características de operação do digestor

N.º de ciclos de alimentação por dia	7
Volume de lamas por ciclo	8,5 m ³
Duração de cada ciclo	64 minutos
Carga de ST por ciclo	671 Kg SV/ciclo
Carga de SV por ciclo	233 Kg ST/ciclo
Caudal das bombas de alimentação	2,22 l/s

7.1.4 Homogeneização

É conveniente ativar os sistemas de mistura, sendo a recirculação de lamas a alternativa mais utilizada (o que se verifica no digestor na ETAR de Bragança) de modo a distribuir eficazmente a alimentação no digestor, evitando assim acumulações pontuais que podem ser prejudiciais e favorecendo uma colonização homogénea (Lema, 1988).

7.2 Monitorização Digestor

A programação temporal e de rotina do reator são pontos muito importantes, no entanto, á outros parâmetros que tem que ter um tratamento diferente, pelo que são descritos em seguida aqueles mais específicos a considerar durante o arranque do digestor.

Os principais parâmetros a controlar no decorrer do arranque do sistema, e mesmo durante a sua operação regular são:

- pH;
- acidez volátil;
- alcalinidade total;
- temperatura;
- potencial redox.

Estes parâmetros são facilmente monitorizados, quer por medições in situ, quer por procedimentos analíticos de grande simplicidade. Com o controlo atento destes indicadores de processo é possível seguir a evolução do sistema, contrariando eventuais indícios de formação de condições adversas.

Na tabela 20 é apresentado uma proposta de monitorização para o digestor da ETAR da Bragança, que melhor permite otimização e controlo do processo de digestão.

Tabela 20 – Proposta de plano de monitorização do digestor

Ponto de amostragem	Parâmetro	Periodicidade
Entrada Digestor	Sólidos Voláteis	3 x semana
	Sólidos Totais	3 x semana
	pH	Diária
	Temperatura	Diária
Saída Digestor	Sólidos Voláteis	3 x semana
	Sólidos Totais	3 x semana
	pH	Diária
	Temperatura	Diária
	Potencia Redox	Diária
	Acidez Volátil	3 x semana
	Alcalinidade	3 x semana

As comunidades microbianas envolvidas na digestão anaeróbia são extremamente sensíveis a variações de pH, perdendo toda a atividade para valores inferiores a 6.2. A capacidade do meio em resistir a flutuações neste parâmetro intimamente relacionada com a alcalinidade total.

Por outro lado, foi já referido que um dos produtos intermédios deste metabolismo são os ácidos orgânicos (medidos como acidez volátil), que existindo em grande quantidade no meio possuem um considerável poder de desestabilização do valor de pH, sendo bastante problemático quando a sua concentração ultrapassa os 250 mg/L.

Como *amortecedor*, isto é, como tampão face às constantes variações no valor de pH das lamas alimentadas ao digestor e aos ácidos orgânicos constantemente produzidos, é indispensável manter a alcalinidade total dentro de valores capazes de contrariar essas variações. Com um processo de digestão anaeróbia a decorrer satisfatoriamente, esperam-se valores de alcalinidade total na ordem dos 1000 a 5000 mg CaCO₃/L. Embora o pH médio das lamas mistas produzidas atualmente na ETAR não inspire grandes preocupações, uma vez iniciado o processo deve existir um stock de cal pronto a utilizar na regulação do processo. Um digestor em que se o valor de pH desça demasiado sem que se tomem de imediato medidas que o contrariem, necessitará certamente de um novo arranque, com todos os inconvenientes processuais e financeiros que a situação acarreta.

Por último, mas igualmente importante, é a temperatura de operação escolhida. A digestão anaeróbia possui picos de atividade fundamentalmente em duas gamas de temperatura, a Mesófila (32 a 38°C) e a Termófila (49 a 57°C). A passagem de uma gama de temperatura para outra poderia implicar a morte dos microrganismos, pelo que o controlo da temperatura requer alguns cuidados. Em termos de projeto, a gama de temperaturas escolhida foi a gama Mesófila, 32 a 38°C.

Num digestor mesófilo e agitado, podem atingir-se tempos de retenção na ordem dos 10 a 30 dias, sendo frequente o seu arranque iniciar-se com tempos de residência próximos dos 70 dias. A elevação de temperatura no digestor é feito por aquecimento externo das lamas em permutador de calor, e como fonte de energia é utilizado o biogás produzido no processo. Numa situação de arranque o sistema não é ainda energeticamente autossuficiente, pelo que é necessário optar pela instalação adicional de uma adaptação a uma fonte de energia alternativa, ou proceder ao arranque da instalação a frio.

A questão fundamental é equacionar as vantagens e inconvenientes de cada uma destas opções. Se por um lado pode evitar-se a adaptação da instalação a uma outra fonte de energia, por outro, deve ter-se em mente que, a uma temperatura mais baixa, o tempo de residência inicial das lamas pode revelar-se muito superior. Existe ainda outra opção que, constituindo um meio-termo entre as anteriores, não deve ser posta de parte. Se o arranque for feito a frio, mas durante a Primavera/Verão, a falta de aquecimento das lamas pode ser

minimizada pelo aquecimento solar da cobertura do digestor. Assim, logo que se produza gás de digestão, poder-se-á proceder ao aquecimento de lamas previsto no sistema.

7.2.1 Produção de Biogás

É um dos parâmetros a ser seguido diariamente na operação do digestor. No arranque tem especial interesse o conhecimento da produção horária de gás a partir do momento em que terminou a alimentação. Nas horas imediatas posteriores à alimentação tem lugar a maior parte da produção de gás, o que nos permite verificar se o sistema é capaz de metabolizar rapidamente o substrato, o que por sua vez indica se é possível aumentar a carga orgânica afluyente ao digestor.

O volume total de gás produzido aumenta à medida que as cargas no digestor aumentam. Tempos de retenção hidráulicos mais longos permitem uma gaseificação mais completa, o aumento da produção de gás pode compensar o aumento de custo de construir um reator maior de forma a permitir o aumento deste.

A qualidade do gás produzido durante a digestão não é afetado significativamente pelo aumento da carga de sólidos voláteis e ou pelo aumento do tempo de retenção hidráulico.

As taxas de produção típicas são de 0.75 a 1 m³ de gás por kg de sólidos voláteis destruídos. O conteúdo em metano do gás é de 60 a 70% do volume.

A energia produzida pelo gás pode ser utilizada para aquecer as lamas de recirculação e para manter o digestor à temperatura pretendida, assim como para aquecimento ou produção de energia para os edifícios da instalação.

O potencial para recuperar e utilizar a energia do digestor é de grande importância, de forma a reduzir os gastos em energia.

7.2.2 Concentração e Atividade da Biomassa

Nos casos mais habituais em que a velocidade do processo não se encontra condicionada pela velocidade de transferência da matéria, sendo a capacidade do sistema determinada pela concentração e atividade específica da biomassa ativa, é importante conhecer o desenvolvimento e a distribuição da biomassa no digestor, assim como, a sua atividade específica, o que é de especial interesse quando os progressos do arranque não são os

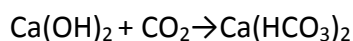
esperados. O valor da atividade específica informa-nos sobre o grau de adaptação da biomassa às lamas de alimentação.

7.2.3 Controlo de pH e Alcalinidade

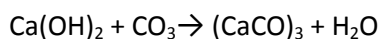
Num ambiente favorável, para os microrganismos metanogénicos, o pH varia de 6 a 8, mas o valor típico situa-se entre 6.8 a 7.2. Se o pH descer para valores inferior a 6.0, os ácidos gordos voláteis não ionizados começam a ser tóxicos para os microrganismos metanogénicos, acima de 8 existe amónia não ionizada que é tóxica para os mesmos microrganismos.

A Cal é frequentemente usada para o controlo do pH, contudo deve ser lembrado que o pH de um sistema anaeróbio é uma função do conteúdo em dióxido de carbono, da alcalinidade e da concentração dos ácidos voláteis no ambiente.

O controlo do pH é desejado quando este se situa em valores inferiores a 6.5 ou 6.6. A adição de cal nesta gama de pH resulta na seguinte reação:



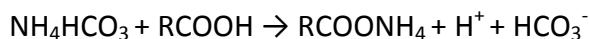
À medida que a concentração da alcalinidade ao bicarbonato se aproxima das 500-1000 mg/L, a adição continua de cal resulta na precipitação do carbonato de cálcio insolúvel, nomeadamente:



Apesar de a adição de cal ser eficiente para o controlo do pH no digestor, é muito importante controlar cuidadosamente a sua adição devido às diversas relações existentes entre a adição de cal, dióxido de carbono dissolvido, pH, alcalinidade ao bicarbonato e acidez volátil. Devido ao cuidado com que se deve proceder a adição de cal, o bicarbonato de sódio pode ser usado como compensador, exceto em situações que requeiram uma correção massiva do pH.

Amónia anidra também pode ser usada para controlar o pH num digestor anaeróbio. A amónia anidra também ajuda a dissolver as escumas, estando relacionada intimamente com a alcalinidade no controlo do processo de digestão. Reage com o dióxido de carbono e água, resultando carbonato de amónio que fornece alcalinidade ao sistema. O carbonato de amónio está disponível para reagir com os ácidos voláteis livres que se verificam nos desequilíbrios do

sistema de digestão anaeróbia, resultando na formação de sais de ácidos voláteis. Estas reações passam-se da seguinte forma:



Portanto a amónia anidra pode melhorar o ambiente num digestor com mau funcionamento, uma vez que fornece um tampão de alcalinidade e pela eliminação de ácidos voláteis. A amónia anidra deve ser adicionada com cuidado, porque a sua adição indiscriminada pode levar a um excesso de amónia que é tóxica para as bactérias.

As necessidades de amónia anidra podem ser calculadas considerando os ácidos voláteis livres e a alcalinidade. A alcalinidade ao bicarbonato que esta disponível para tampão no sistema pode ser calculada pela expressão:

$$\text{BA} = \text{TA} - (0.85) (0.833) \text{ TVA}$$

Onde:

BA= Alcalinidade ao bicarbonato (mg/L)

TA-Alcalinidade total (mg/L)

TVA-Ácidos voláteis livres (mg/L)

Se a alcalinidade ao bicarbonato calculada por esta equação for menor que a alcalinidade requerida para fornecer o poder tampão necessário, nomeadamente 500-1000 mg/L como CaCO_3 , a amónia anidra pode ser adicionada para aumentar a alcalinidade. A quantidade de amónia anidra que pode ser adicionada pode ser calculada pela expressão seguinte: (baseado em soluções comerciais com 80% de amónia)

$$\text{NH}_3 (\text{Kg}) = 3.5 \times 10^{-6} (\text{V}) (\text{AR})$$

Onde:

V = Volume de lamas no digestor no digestor (m^3)

AR= Alcalinidade requerida (mg/L de CaCO_3)

A alcalinidade requerida (AR) é a soma algébrica da alcalinidade desejada nas lamas em digestão e a alcalinidade ao bicarbonato (BA) necessária para servir de tampão.

Como já foi referido anteriormente é de interesse primordial manter o pH no intervalo adequado as populações microbianas, para que estas possam manter a sua atividade máxima, mas a medição de pH é pouco precisa na hora de detetar a tempo possíveis anomalias no sistema por diferentes motivos:

- Ao ser uma variável logarítmica, a alteração de uma unidade corresponde a uma variação de dez vezes da concentração do ião hidrogénio;
- O pH depende da alcalinidade do meio que é por sua vez condicionado pela natureza do afluente que se está a tratar;
- Quando se produz uma variação significativa do pH possivelmente o sistema já está desequilibrado.

Ainda, quanto ao sistema *pH-Alcalinidade*, na fase de arranque e posterior fase estacionária, é necessário possuir permanentemente em stock quantidades de cal que permitam contrariar prontamente qualquer desequilíbrio, em qualquer destes parâmetros, que comprometa a sobrevivência e desempenho microbiano. Um decréscimo de pH para valores inferiores a 6.2 pode resultar na necessidade de um novo arranque do processo.

7.2.4 Controlo de Ácidos

Os ácidos gordos voláteis são produtos intermédios da digestão. Além dos valores típicos da concentração dos ácidos gordos voláteis se situarem na gama de 50 mg/l a 300 mg/l, níveis superiores são possíveis, se existir alcalinidade suficiente para tamponar os níveis de ácido.

Devido ao balanço requerido entre ácidos gordos voláteis e alcalinidade, a razão AGV / AT (razão entre os ácidos gordos voláteis e a alcalinidade total, presentes no digestor) fornece um excelente indicador do funcionamento do digestor. A monitorização da taxa de variação da razão pode indicar a existência de um problema antes de uma mudança crítica no pH. Se a razão exceder os 0.8 há um decréscimo de pH e pode ocorrer a inibição da produção de metano. Aumentos da razão de 0.3 a 0.4 indicam problemas e a necessidade de ações corretivas.

Com o fim de assegurar um desenvolvimento homogéneo dos diferentes grupos tróficos, convém observar uma não acumulação de ácidos gordos voláteis. Uma baixa concentração de ácidos (1-2 g/L) nos períodos posteriores a alimentação e sempre que não provoque uma

descida do pH não supõe nenhum problema, uma vez que permite um desenvolvimento mais rápido da flora microbiana.

7.2.5 Controlo da Temperatura

Tipicamente, a atividade e o crescimento dos microrganismos aumenta à medida que a temperatura aumenta, até ao limite de sobrevivência que depende de microrganismos para microrganismos, portanto a temperaturas mais elevadas os microrganismos consomem mais rapidamente o substrato disponível.

A temperatura do digestor não deve sofrer um desvio de 0.6°C num dia em relação à temperatura estipulada porque cada grupo de bactérias metanogénicas tem uma temperatura ótima de crescimento. Se a temperatura varia, nenhum grupo de bactérias metanogénicas se poderá desenvolver e é necessário uma população microbiana estável para otimizar o processo. Por estes motivos o controlo da temperatura deverá ser rigoroso para se evitarem problemas com manutenção das condições ótimas de operação.

Contudo, surgem, agora, questões de rentabilidade energética, capacidade de tratamento das lamas produzidas e da própria manutenção dos equipamentos.

As elevadas temperaturas necessárias para atingir o grau de tratamento adequado (32 a 38°C), são frequentemente apontadas como desvantagem nos processos anaeróbios devido aos gastos energéticos adicionais. No entanto, um aumento de temperatura só se toma desejável, se não se conseguir atingir o tempo de residência celular que permita o tratamento do respetivo caudal de lamas, à temperatura ambiente. Com o aumento de temperatura, o tempo de residência é significativamente reduzido, aumentando também o caudal de lamas tratado. Tal como já foi referido anteriormente, pode obter-se com o aquecimento de lamas tempos de retenção na ordem dos 15 a 30 dias, em oposição aos 40 a 60 de uma digestão a frio. Não pode esquecer-se que a alteração da gama de temperaturas utilizada implica, na melhor das hipóteses, uma quebra de atividade num período de adaptação.

7.3 Indicadores de Funcionamento do Reactor

Uma operação de tratamento anaeróbia desequilibrada é geralmente indicada pelo aumento de dióxido de carbono no gás com uma correspondente diminuição de metano na composição do mesmo e por um aumento da concentração de sólidos voláteis nas lamas. Eventualmente ocorre uma diminuição na quantidade de gás produzida diariamente e um abaixamento do pH. A digestão anaeróbia pode ser desequilibrada temporariamente por mudanças repentinas na temperatura, pelas cargas orgânicas inseridas no digestor ou pela sua composição.

Este tipo de perturbações pode ser remediada fornecendo tempo suficiente a população microbológica de se ajustar as novas condições ambientais, frequentemente o controlo do pH para que este se situe cerca da neutralidade é necessário.

Perturbações longas ou relativamente permanentes no sistema de digestão anaeróbio podem ser provocadas pela introdução de materiais tóxicos para as bactérias metanogénicas ou pelo abaixamento extremo no pH. Este tipo de desequilíbrios é frequente no arranque dos digestores. A população de bactérias metanogénicas requer algum tempo, para se desenvolver em número suficiente para converter ácidos voláteis em metano e dióxido de carbono. Por vezes no arranque o pH desce a níveis inferiores ao tolerado pelas bactérias metanogénicas. Se os desequilíbrios prolongados são provocados por material tóxico, deve-se remover esta substância (s). Os desequilíbrios provocados pelo abaixamento extremo do pH devem ser remediados por um controlo apertado do pH, levando a que este aumento para valores neutros e fornecendo tempo suficiente as culturas microbológicas para que recuperem.

Os diferentes parâmetros químicos que caracterizam o ambiente anaeróbio estão interrelacionadas, onde uma variável afeta direta ou indiretamente as outras. Para uma boa compreensão destas relações, uma precisa estimativa do pH, alcalinidade, concentração em ácidos voláteis e conteúdo em dióxido de carbono do gás são de extrema importância para o controlo do processo.

Nenhum parâmetro per si pode ser isolado como melhor indicador do ambiente dentro do digestor. No passado, a taxa de produção de gás foi considerado como o melhor indicador da performance do digestor, contudo este parâmetro não descreve o completamente o ambiente no seu interior, normalmente quando a produção de gás baixa é porque existem desequilíbrios no processo, devendo ser tomadas medidas drásticas tendo em conta os outros indicadores.

Como já foi referenciado anteriormente se o ambiente anaeróbio se encontra bem tamponizado, o pH por si só não serve como indicador.

Os parâmetros que nos fornecem uma ideia das condições de digestão no interior do digestor e que advertem de alguma falha na digestão são: a concentração em ácidos voláteis, alcalinidade, o conteúdo de dióxido de carbono no gás, juntamente com o pH. Mudanças repentinas nestes parâmetros indicam falhas no sistema de digestão, mais cedo que as quebras de produção de gás. As falhas na digestão são indicadas por um forte aumento da concentração de ácidos voláteis e dióxido de carbono no gás e um abaixamento do pH e da alcalinidade. A produção diária de gás pode baixar significativamente. Os desequilíbrios na digestão podem ser remediados por uma subida do pH para valores neutros e por uma diminuição da carga de sólidos no digestor.

Medições diárias do pH, concentração de ácidos voláteis, alcalinidade das lamas e o conteúdo de dióxido de carbono no gás são imperativas para o bom controlo do processo, principalmente no arranque.

O principal objetivo de uma estratégia de controlo de processo é manter as condições ótimas e estáveis. A estabilidade é particularmente importante na operação de digestores anaeróbios. Os processos inibidores complexos de natureza química ou físico-química e a dinâmica lenta do sistema, provocam uma destabilização do seu funcionamento o que pode levar a longos períodos de inatividade. As causas mais frequentes responsáveis pelo desequilíbrio do digestor são as seguintes:

- Sobrecargas orgânicas ou hidráulicas do sistema;
- Aumento ou descida da temperatura (choque térmico);
- Aparição no sistema de substâncias tóxicas ou inibidoras, presentes na corrente de entrada ou formadas durante o processo de degradação;
- Modificação importante nas condições físico-químicas: pH, Potencial redox, Temperatura;
- Modificações importantes nas características internas do reator: "wash out" de biomassa, colmatação por sólidos.

A deterioração do processo pode também ocorrer devido a mudanças progressivas no equipamento, que podem afetar principalmente a qualidade da biomassa desenvolvida e a velocidade de transferência da matéria.

7.3.1 Sobrecarga Orgânico/Choque Térmico

A sobrecarga orgânica e o choque térmico provocam um aumento da relação carga orgânica / atividade microbiana pelo que os efeitos finais observados são similares, no entanto, os efeitos de uma sobrecarga orgânica e de um choque térmico podem ser diferentes dependendo do tipo de substrato, tipo do reator e gama de temperaturas de funcionamento (Soto et al, 1991). Uma diminuição térmica provoca um abaixamento da atividade de todos os microrganismos implicados, se bem que o impacto é mais significativo nos que estão afetos as etapas limitantes. Neste caso não se dá acidificação, pelo contrário uma sobrecarga orgânica pode produzir um forte aumento na produção de gás, o que provoca uma maior arraste de biomassa para fora do digestor.

Uma série de sintomas precedem o aparecimento da acidificação do digestor:

- Aumento da concentração de hidrogénio e de gases como o monóxido de carbono, devido a impossibilidade dos organismos hidrogenófilos, e sulfato e nitrito-redutores de metabolizar o hidrogénio produzido em excesso pelos microrganismos acidogénicos;
- Acumulação de ácidos voláteis gordos, este fenómeno trás consigo uma diminuição da alcalinidade ao bicarbonato, aumentando a relação AGV/AT (relação entre os ácidos gordo voláteis e a alcalinidade total no digestor). Ocorre ainda a síntese e posterior acumulação de ácidos de cadeia longa, aparecendo também compostos de cadeia ramificada;
- Esgotamento da reserva alcalina de bicarbonato, observável por um aumento da concentração de dióxido de carbono no biogás e uma diminuição significativa do pH;
- Pelo efeito combinado pH -concentração de ácidos gordos voláteis ficam inibidas as bactérias metanogénicas, aumentando assim a concentração de acetato, obtendo-se como resultado final do ciclo uma cessação da metanogénese e uma diminuição apreciável do pH.

7.3.2 Sobrecarga Hidráulica

A sobrecarga hidráulica consiste em alimentar o sistema com um caudal superior ao desejável para a operação em fase estacionária, pelo que se a concentração afluenta é mantida, acresce uma sobrecarga orgânica. Se os sistemas de retenção de biomassa não funcionarem corretamente dá-se a eliminação de uma parte significativa da biomassa por "wash out".

Segundo Soto et al, 1991 os efeitos relacionados com a acidificação podem ser mínimos quando o substrato é do tipo polimérico e necessita ser hidrolisado, neste caso, a hidrólise

pode converter-se em etapa limitante, de forma que durante a sobrecarga parte do substrato deixa o reator sem se ter acidificado.

7.3.3 Inibidores

Existe a possibilidade de que por acidente ou operação defeituosa da ETAR, o afluente ao digestor contenha compostos prejudiciais ao sistema. Dependendo dos efeitos que se produzam podem ser considerados como inibidores metabólicos, fisiológicos ou bactericidas. Mesmo que num primeiro momento os efeitos que se observam podem ser similares, perda de eficiência do digestor, os efeitos a médio-longo prazo são diferentes. Assim os compostos do primeiro tipo causam uma inibição reversível, recuperando-se a atividade original quando o composto abandona o sistema. Os inibidores fisiológicos mantêm os seus efeitos durante mais tempo, uma vez, que afetam componentes subcelulares das bactérias. Os agentes bactericidas exercem um efeito catastrófico uma vez que causam a morte dos microrganismos.

Dado que os inibidores afetam em maior medida a acidogénese e a metanogénese, as suas consequências podem ser muito similares à dos fenómenos descritos anteriormente, ocasionando desde o momento inicial a quebra da produção de metano e consequente acidificação.

7.4 Estabilidade a Longo Prazo

Foram referidas anteriormente as principais causas de destabilização repentina de um digestor, no entanto, podem dar-se fenómenos de destabilização a longo prazo, operando com as mesmas condições em que foram provadas as eficiências e capacidades do sistema. Estes desequilíbrios podem ter lugar de uma forma lenta mas progressiva. As causas que os originam podem ser várias entre elas: perda de biomassa no reator, perda de atividade específica, aparição de problemas de transferência de matéria.

7.4.1 Perda de Biomassa do Interior do Digestor

Uma presença contínua de uma substância de toxicidade parcial pode ser a causa do desprendimento e perda contínua de biomassa. As medidas a adotar dependem de cada caso

particular, no entanto, é importante a determinação dos sólidos voláteis no efluente para verificar a validade das alterações introduzidas.

7.4.2 Perda de Atividade Específica

Os sistemas de retenção de biomassa podem alcançar elevadas concentrações de sólidos no interior do reator, podendo ocorrer que estes sólidos não sejam ativos, uma vez que podem ser sólidos inorgânicos presentes no afluente ou orgânicos de difícil degradação ou ainda por se ter criado uma situação de toxicidade permanente.

A caracterização física (concentração, percentagem de voláteis) e microbiológica (atividade específica) pode indicar a natureza do problema. Por exemplo, sólidos inorgânicos presentes no afluente são retidos no interior do sistema ocupando o espaço previsto para sólidos biológicos. Neste caso a percentagem de sólidos voláteis em suspensão no interior do reator descerá progressivamente.

Os sólidos inorgânicos podem formar-se também dentro do reator, no caso de o afluente ser rico em iões metálicos e sulfatos. Durante o processo anaeróbio o sulfato é reduzido a sulfito, o que pode originar a precipitação de alguns catiões. Por outro lado a entrada de sólidos orgânicos não degradáveis pode ocasionar uma acumulação de sólidos voláteis não ativos que se vai repercutir num abaixamento da atividade específica.

7.4.3 Distribuição do Afluente e Transferência de Matéria

Uma retenção excessiva de sólidos biológicos pode dar origem a problemas de colmatção, à criação de percursos preferenciais e à aparição de problemas de transferência de matéria. Neste caso ainda que se mantenham elevadas atividades específicas, a capacidade do sistema diminuirá.

Algumas das medidas operacionais a tomar para solucionar estes problemas são: controlo adequado de purgas periódicas, aumento da taxa de recirculação, recircular o biogás para promover o arraste de sólidos.

A determinação da existência de zonas mortas e percursos preferenciais, que modificam notavelmente o comportamento hidráulico do reator, mediante técnicas de determinação de distribuição de tempos de residência, pode orientar-nos para a identificação da natureza do problema.

8. Análise Processual e Económica

Neste capítulo pretende-se efetuar uma análise da realidade operacional da ETAR a nível da digestão anaeróbia, mais especificamente de produção de biogás e energia por comparação com o projetado e efetuar uma análise crítica.

8.1 Digestão

De uma forma geral verifica-se que a produção de lama mista é inferior ao previsto para horizonte de projeto, o que é justificado pelo facto de a ETAR estar com caudais afluentes abaixo do esperado, no entanto e como se pode verificar na tabela 3, as concentrações de CBO e CQO médias no período em análise são superiores ao previsto para horizonte de projeto o que justifica uma maior quantidade de ST produzida.

Também se verifica que a quantidade de SV nas lamas mistas é bastante inferior ao que seria de prever, o que indicia um afluente bruto com uma elevada quantidade de materiais não fermentáveis e inertes e a uma produção elevada de lamas primárias.

Tabela 21 – Comparação da produção de lamas para horizonte de projeto e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).

	Horizonte de Projeto (2013)	Anos de 2008 a 2010
Quantidade de ST	4065 Kg/d	4696 Kg/d
Quantidade de SV	3552 Kg/d	1630 Kg/d
Lamas que escapam pelo decantador secundário	170,55 Kg SST/d	74,19 Kg SST/d
Concentração das lamas mistas	5,3%	4,6%
Volume de lamas totais	79 m ³ /d	59,7 m ³ /d
Caudal afluente	5.685 m ³ /d	4.946 m ³ /d

Desta forma verifica-se que a quantidade de SV introduzida no processo de digestão é bastante inferior ao desejado, o que condiciona a produção de biogás e consequente produção de energia.

Em termos de controlo analítico também se verifica que o digestor não está a funcionar nas condições ideais, na comparação entre os valores médios de 2008 a 2010 e os valores ideais para um processo de digestão anaeróbio, constantes na tabela 22.

Tabela 22 – Comparação de parâmetros analíticos para horizonte de projeto/bibliografia e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).

Parâmetro	Bibliografia/Projeto	Valores médios 2008 a 2010
pH Lamas Mistas	6,5	6,03
pH Lamas Digeridas	7,0	6,53
Temperatura Lamas Mistas	17°C	17,40°C
Temperatura Lamas Digeridas	35°C	20,19°C
Potencial Redox	-350 mV	-
Alcalinidade	1500 a 3500 mg/l	3520 mg/l
Acidez Volátil	2700 a 6800 mg/l	2552 mg/l

Verifica-se que o principal problema a nível de operação do digestor é não obtenção de uma temperatura de digestão ótima dentro da gama mesófila, dado que nos restantes parâmetros apesar de alguns desvios se encontram dentro do previsto.

O facto da digestão não se estar a dar na temperatura ideal tem como principais consequências a necessidade de aumento do tempo de retenção hidráulico do digestor, o que não sendo possível, leva a que a lamas seja desidratada sem estar totalmente estabilizada e a uma menor atividade metabólica com a consequente diminuição da produção de biogás.

8.2 Necessidades de Aquecimento

Como analisado no ponto 6.5 deste documento e em função dos valores médios de temperatura das lamas mistas na ETAR no período em análise e valores médio mínimos anuais do ar e solo na região de Bragança que o calor necessário para o aquecimento das lamas é de cerca de 57009 kcal/h.

Para valores de semelhantes de temperatura de lamas, ar e solo em projeto o calor necessário é de 63748 kcal/h. No entanto é importante referir que o volume de lamas considerado em projeto é superior a média verificada no período em análise.

Desta forma verifica-se que nos valores obtido são semelhantes tendo em conta que os coeficientes de transmissão de temperatura para o ar e solo foram idênticos.

No entanto, é como pode ser verificado na tabela 22, a temperatura média no digestor é muito inferior ao desejável e só pontualmente é que as lamas digeridas registaram ao longo do

período em análise (ver figura 8.) temperaturas próximas ao desejado, sendo esta situação agrava no período de inverno de Novembro a Março.

O clima na região do nordeste trasmontano é bastante rigoroso no inverno onde nos meses de Novembro a Março e verifica que as temperaturas do ar são muitas vezes negativas, onde as médias mensais neste período são por vezes negativas ou próximas de zero, por outro lado os verões tendem a ser extramente quentes, o que leva a que a temperatura média mínima seja relativamente elevada quando comparada com as temperaturas mínimas registadas no inverno, neste sentido e face aos dados disponíveis verifica-se que poderá ter existido um subavaliação das necessidades de calor para o aquecimento das lamas para o período de inverno e que as perdas por radiação do digestor reais são bastante superiores as calculadas.

8.3 Produção de Biogás

Como referido no ponto 6.8 estimou-se uma produção de gás teórica de cerca de 550m³/d, face aos dados médios coletados no período de 2008 a 2010, neste cálculo não foram consideradas as condicionantes mencionadas nos pontos 8.1 e 8.2, ou seja, que a temperatura de digestão registada neste período é bastante inferior ao desejado.

A produção de biogás real registada no período em análise foi de 30573 m³, valor que é muito inferior ao previsto. Na figura seguinte pode ser verificada a evolução da quantidade de biogás presente no gasómetro, onde se verifica que a produção de gás se concentra nos meses de maior calor.

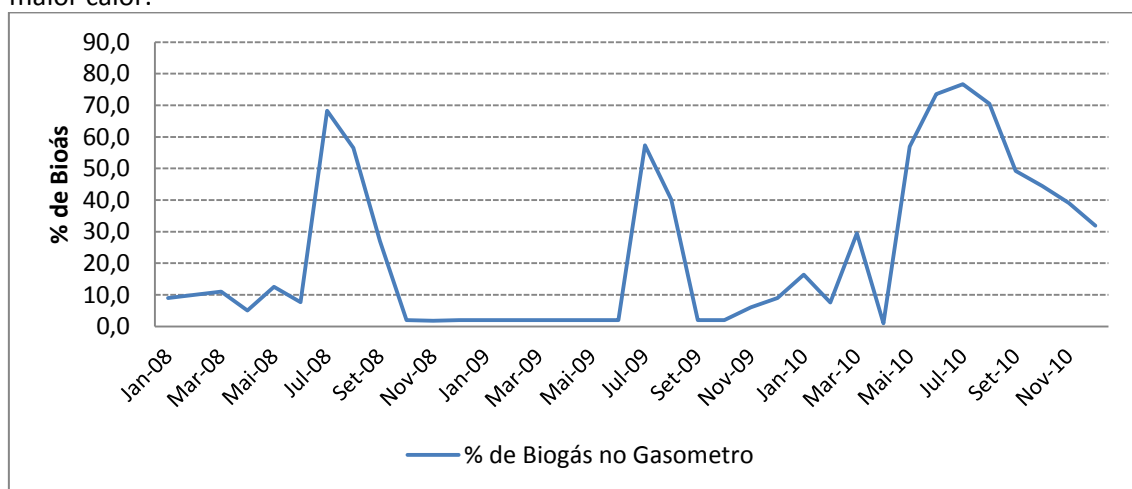


Figura 19 – Evolução temporal da quantidade de biogás no gasómetro.

Na tabela seguinte pode observar-se as estimas de produção de gás em projeto e comparar as mesmas com as estimativas teóricas em face dos dados coletados entre 2008 e 2010 e a produção real medida.

Tabela 23 – Comparação da produção de biogás para horizonte de projeto/bibliografia e os valores verificados no período temporal em análise (2008 a 2010).

Horizonte de Projeto (2013)	Valor Teórico Estimado para o período de 2008 a 2010	Valor medido no período de 2008 a 2010
1317 m ³ /d	550 m ³ /d	28 m ³ /d

Como se pode aferir os valores de produção são muito díspares, a principal diferença entre o projeto e os valores teóricos estimados prende-se com um menor quantidade de SV nas lamas a digerir, mas ambos os valores são muito superiores a quantidade de gás efetivamente produzido, situação que se verifica devido aos problemas já mencionados.

8.4 Produção de Energia

Como facilmente se depreende pelo ponto 8.3 a produção de energia registada é muito inferior ao espetável, no entanto, será calculado a energia produzida, para a produção de biogás teórica do ponto 6.8, partindo do seguinte:

- Produção de biogás – 550 m³/d
- Poder Calorífico do biogás – 5600 Kcal/m³
- Consumo Especifico de cogeração – 1300 Kcal kW/h
- Consumo horário de biogás do motogerador – 82m³/h
- Potencia instalada no motogerador – 180kW
- Rendimento do alternador -95%

A produção de energia teórica anual será:

$$180\text{kW} \times 0,95 \times 6\text{h/d} \times 365 = 374490 \text{ kWh/ano}$$

Considerando um custo unitário da energia de 0,12€/kWh, o retorno seria de 44938,80€/ano.

Se consideramos a produção de biogás efetivamente produzida no período de 2008 a 2010, ou seja, 30573 m³, e considerando que o mesmo foi utilizado na sua totalidade para produção de energia, o que não corresponde a verdade, dado que maioria foi utilizada na caldeira para o

aquecimento das lamas, verificamos que a produção de energia foi de cerca 21221 kWh/ano. Representando isto um retorno de 2546,52€/ano.

No projeto da instalação foi considerado como referido na tabela 23, uma produção diária de 1317 m³/d o que daria para uma produção de cerca de 998640 kWh/ano e um retorno de 119837€/ano.

9. Conclusões

O objetivo deste trabalho era aferir se é vantajoso em termos económicos e técnicos a instalação de sistemas de cogeração para produção de energia elétrica, reaproveitando o biogás produzido em sistemas de digestão anaeróbia de lamas, dados os elevados custos de investimento associados aos sistemas de produção de biogás e de cogeração, e dadas as dificuldades processuais e operacionais da otimização e gestão da produção.

Pretendendo-se efetuar uma Avaliação técnico-económica da utilização de sistemas de reaproveitamento de biogás com recurso a cogeração para ETAR's de média dimensão – utilizando como base a uma ETAR em Portugal (42.000 hab.eq).

Na globalidade os objetivos foram cumpridos dado que se fez a Caracterização da ETAR de com enfoque mais específico no processo de digestão anaeróbia, produção de biogás e cogeração, onde foi explicado com detalhe o processo de digestão anaeróbia, a produção de biogás, uma análise detalhada ao processo no período de 2008 a 2010, onde se verifica que existem falhas significativas no processo existente, nomeadamente, a nível de alguns pressupostos base de projeto, mas sobretudo a nível da temperatura de digestão, onde urge a correção da situação quer através de uma melhoria dos equipamentos de aquecimento, quer através de um melhor isolamento térmico do digestor.

Também foi efetuada uma análise com vista a otimização do processo de digestão e consequente da produção de biogás.

A falta de dados relativos ao investimento efetuado no processo de digestão anaeróbia a quente e aos custos associados ao sistema de reaproveitamento de biogás e de cogeração, impediu de efetuar uma análise mais detalhada da mais-valia técnico-económica da opção por este tipo de sistemas, no entanto, foi possível aferir que a produção de biogás teórica para esta instalação é muito inferior ao projetado e consequentemente o retorno em produção de energia que permitiria amortizar o investimento também. Sendo que se esta comparação for efetuada para a produção real no período em causa verifica-se uma produção de biogás e de energia quase insignificante.

Para este caso específico, entende-se que a situação é mais grave dado que, enquanto não for corrigida a questão da baixa de temperatura de digestão, muito dificilmente existirá biogás disponível para a produção de energia, levando a que o investimento feito no sistema de

reaproveitamento de recuperação de biogás e de produção de energia seja totalmente inconsequente, não trazendo por isso qualquer vantagem em termos ambientais e ou de processo.

Face a isto é imprescindível uma avaliação correta em fase de projeto sobre os potenciais benefícios deste tipo de solução para ETAR's desta dimensão e uma correta avaliação quer dos pressupostos base de produção, quer dos equipamentos a instalar, sendo que os aspetos construtivos sobretudo a nível de isolamento térmico devem ter uma maior atenção.

Ainda relativamente a este trabalho admite-se uma lacuna a nível de comparação com outros casos semelhantes, embora para o caso em estudo se verifique que esta opção pelos motivos plasmados poderá não ter sido a mais correta, embora se recolha que com as correções ao processo indicadas ainda seja possível recuperar parte do investimento, seria útil uma comparação com casos semelhantes para aferir se esta é uma realidade da instalação em estudo ou se por outro lado estes problemas ou outros se verificam em instalações similares inviabilizando um retorno adequado do investimento feito e se tal se verifica que cuidados devem ser tidos quer em projeto, quer na gestão operacionais das instalações de forma a poder utilizar uma fonte de energia renovável que pode contribuir para um desenvolvimento sustentável da nossa sociedade.

Bibliografia

Alves M. M., Mota M., Novais J. M.; *Técnicas de Caracterização e Estudo de Digestores Anaeróbios*
Departamento de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Braga

Benefield L. D., Randal C. W. (1980); *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc.

Erickson L. E., Chak Fung D. Y. (1988), *Handbook on anaerobic fermentations*, Marcel Dekker, Inc.

Lema J. M., Méndez R., Soto M. (1992); *Bases Cinéticas y Microbiológicas en el Diseño de Digestores Anaerobios*
Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Compostela

Lue-Hing C., Zenz D. R (1992); Richard Kuchenrither, *Municipal Sewage Sludge Management: processing, utilization and disposal*, Technomic Publishing Company, Inc.

Malina J. F., Pohland F. G. (1992); *Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes*, Technomic Publishing Company, Inc.

Metcalf & Eddy (1991); *Wastewater Engineering; Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill International Editions

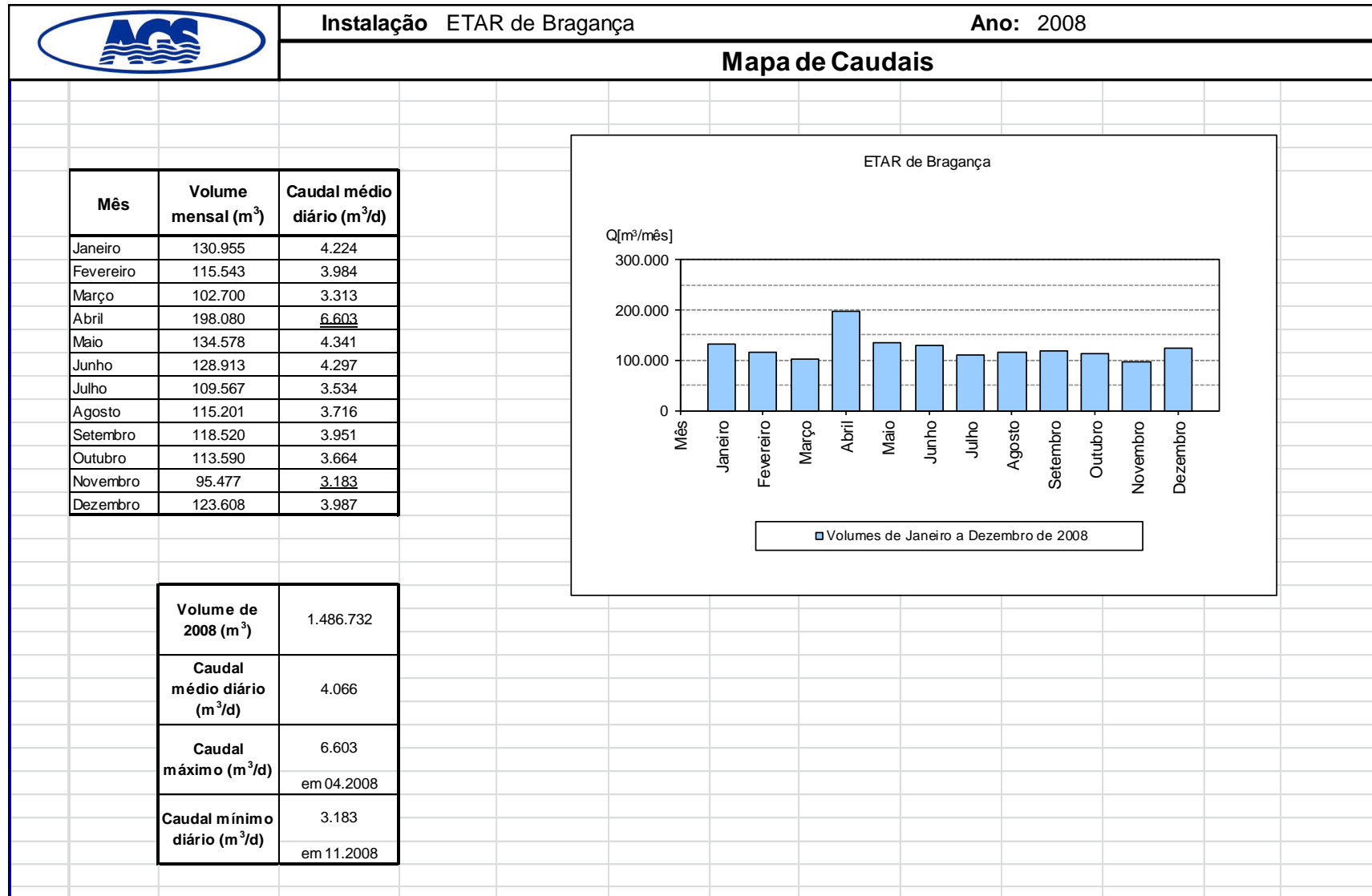
Paris J. M., Lema J. M., Casas C. (1983); *Criterios de selección de tecnología en la digestión anaerobia de aguas residuales*
Departamento de Química Técnica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona

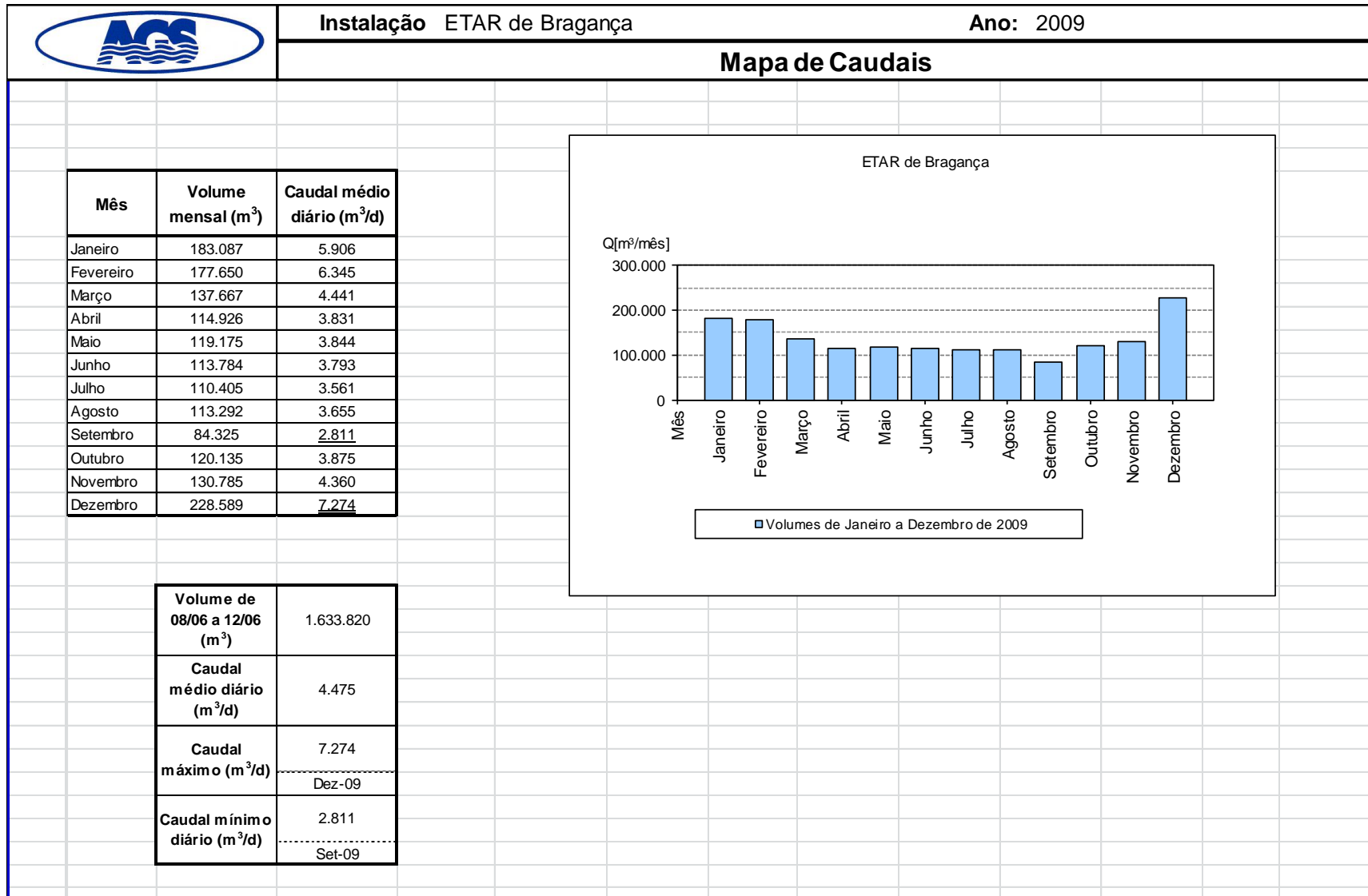
Soto M., Méndez R., Lema J. M. (1992); *Diseño y Operación de Digestores Anaerobios. II Operación y Control*
Departamento de Ingeniería Química, E-15706 Universidad de Santiago de Compostela, Galiza

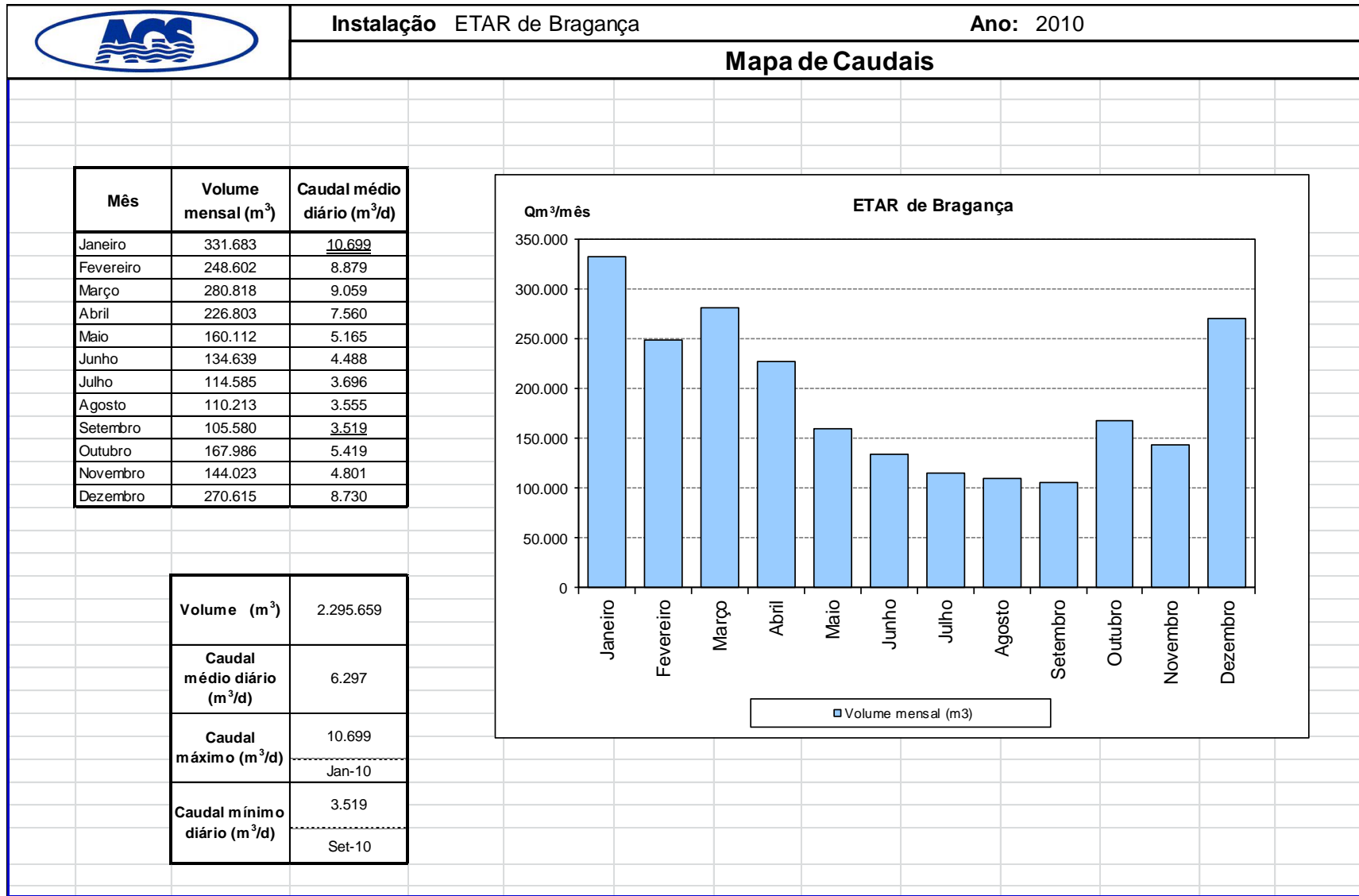
Anexos

Anexo I

Registo do Caudal Afluyente a ETAR



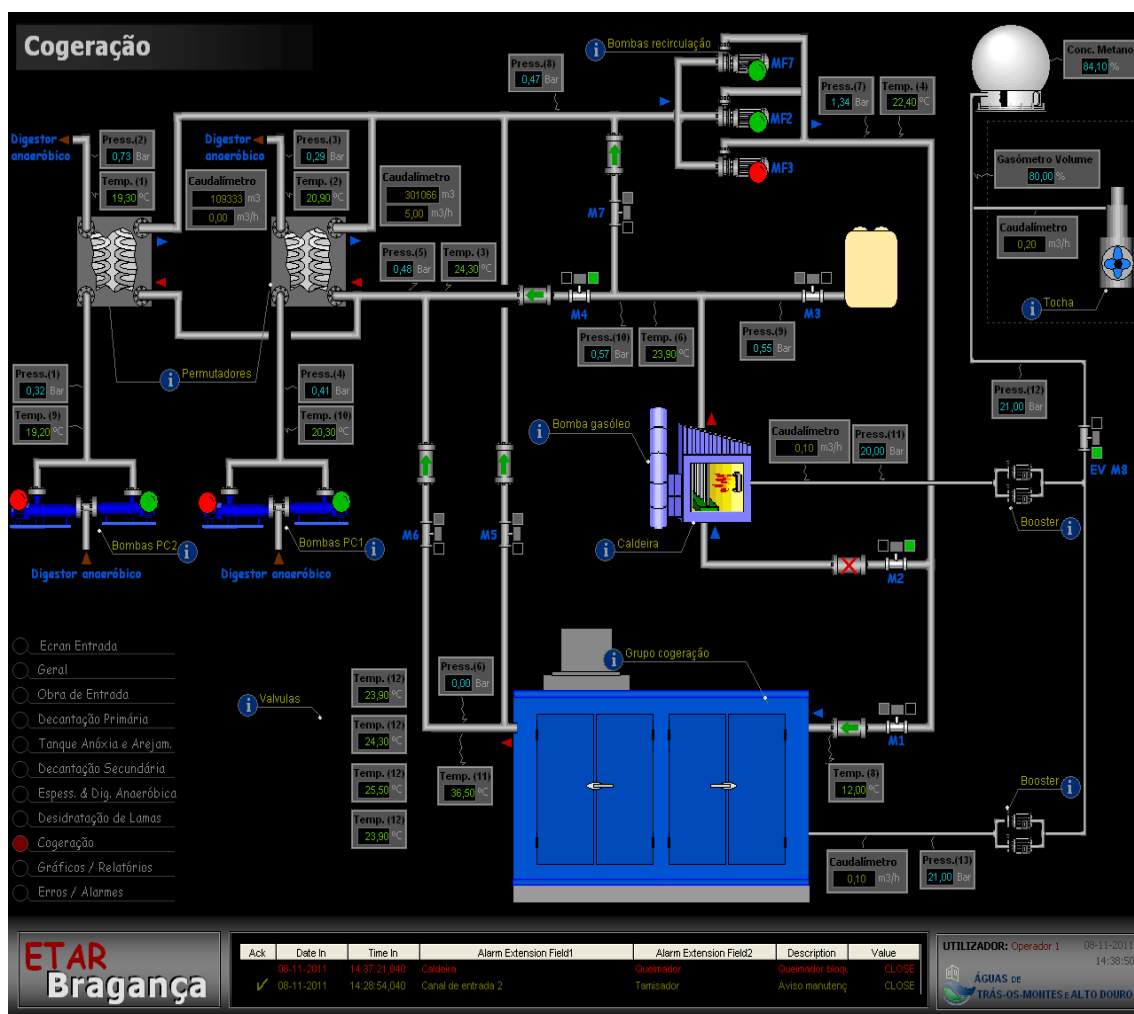


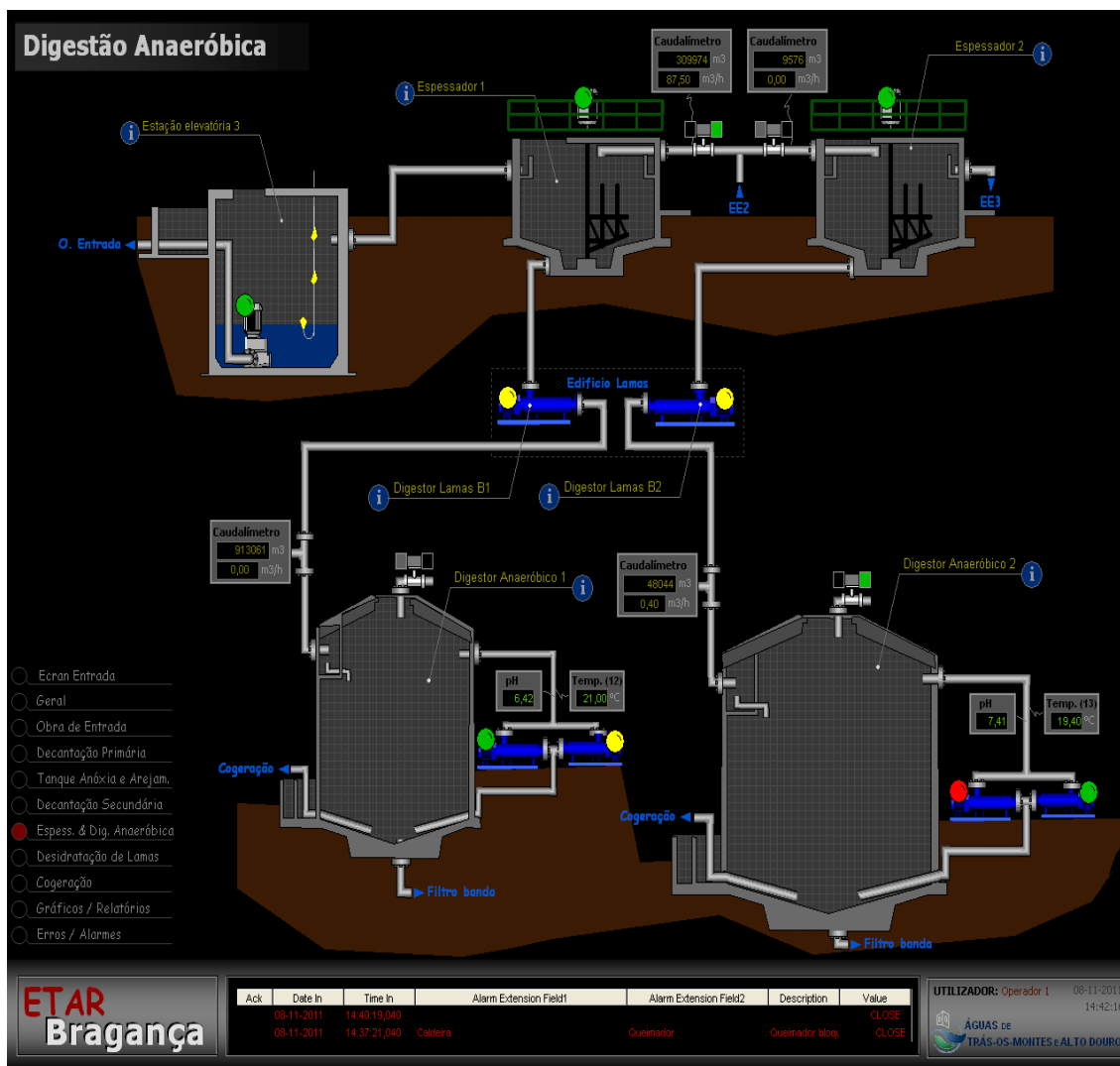


Anexo II

Esquemas e Diagramas de Processo







Anexo III

Plano de Controlo Analítico

Instalação: ETAR de BragançaLaboratório Interno: ETAR de BragançaLaboratório Externo: LRTM

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Laboratório	Técnica	Amostragem	Periodicidade Amostragem	Trabalho laboratorial
Afluente Bruto	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	Oxigénio Dissolvido		3-003.1			
	Potencial Redox		3-005.1			
	CBO ₅	Externo	2-001.1	Composta 24 Horas	2 vezes por semana (Domingo e 4ªfeira)	2ª feira 5ª feira
	CQO		2-002.2			
	SST		2-003.1			
	Óleos e Gorduras		NA		2 vezes por mês	NA
	Detergentes	NA	NA			
	Metais	NA	De 4 em 4 meses	NA		
	Ntotal	Interno	2-005.1	Composta 24 Horas	2 vezes por mês (4ª feira)	5ª feira
	Ptotal					
	NO ₃					
	NH ₄					
Após Desengordurador /Desarenador	Óleos e Gorduras	Externo	NA	Pontual	2 vezes por mês	NA
Decantador Primário	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	Oxigénio Dissolvido		3-003.1			
	Potencial Redox		3-005.1			
	CBO ₅	Externo	2-001.1	Composta 8Horas	2 vezes por semana (domingo) (4ª feira)	2ª feira 5ª feira
	CQO		2-002.2			
	SST		2-003.1			



Ponto de Amostragem	Parâmetro	Laboratório	Técnica	Amostragem	Periodicidade Amostragem	Trabalho laboratorial
	Ntotal		2-005.1		Mensal (4ªfeira)	5ª feira
	Ptotal					
	NO ₃					
	NH ₄					
Tanque de Arejamento	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	Oxigénio Dissolvido		3-003.1			
	SS30min		3-007.1			
	Potencial Redox		3-005.1		2 vezes por semana (domingo) (4ªa feira)	2ª feira 5ª feira
	SST		2-003.1			
	SSV		2-005.1		Mensal (4ªsemana – 4ªfeira)	5ª feira
	Ntotal					
	Ptotal					
	CBO ₅		2-001.1			
	Tanque Anóxico		pH		Interno	3-002.1
Temperatura		3-001.1				
Oxigénio Dissolvido		3-003.1				
Potencial Redox		3-0051				
Amónia		2-005.1	2 vezes por mês (4ª feira)	5ª feira		
Nitratos						
Efluente Final	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	Oxigénio Dissolvido		3-003.1			
	Potencial Redox		3-005.1			
	CBO ₅		2-001.1	Composta 24Horas	2 vezes por semana (domingo) (4ªa feira)	2ª feira 5ª feira
	CQO		2-002.2			
	SST		2-003.1			

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Laboratório	Técnica	Amostragem	Periodicidade Amostragem	Trabalho laboratorial
	Óleos e Gorduras	Externo	NA		2 vezes por mês	NA
	Detergentes		NA		NA	
	Metais		NA		De 4 em 4 meses	NA
	Ntotal	Interno	2-005.1		2 vezes por mês	5ª feira
	Ptotal					
	NO ₃					
	NH ₄					
Meios Receptores (Montante, Jusante e Ponte de Alfaião)	pH	Interno	3-002.1	Pontual	2 vezes por mês (4ª feira)	5ª feira
	Temperatura		3-001.1			
	Oxigénio Dissolvido		2-001.1			
	CBO ₅		2-001.2			
	CQO		2-003.1			
	SST		3-002.1			
	SSV					
	Ntotal		3-001.1			
	Ptotal		2-004.1			
Escorrências	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	CBO ₅		2-001.1		2 vezes por mês (4ª feira)	5ª feira
	CQO		2-001.2			
	SST		2-003.1			
Lamas Biológicas Recirculadas	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Diário	Diário
	Temperatura		3-001.1			
	OD		2-001.1			
	SS 30min		3-007.1		2 vezes por semana (4ª feira)	5.ªfeira
	SST		2-003.1			
	SSV					

Ponto de Amostragem	Parâmetro	Laboratório	Técnica	Amostragem	Periodicidade Amostragem	Trabalho laboratorial		
Lamas Primárias	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Semanal (4ªfeira)	5ª feira		
	Temperatura		3-001.1					
	MS		2-004.1					
Lamas Mistas	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Semanal (4ªfeira)	5ª feira		
	Temperatura		3-001.1					
	MS		2-004.1					
Lamas Espessadas	pH	Interno	3-002.1	Pontual	Semanal (4ªfeira)	5ª feira		
	MS		2-004.1					
	MV							
Lamas Desidratadas	MS	Interno	2-004.1	Pontual	Semanal (4ªfeira)	5ª feira		
	MV							
	Metais	Externo	NA		6 em 6 meses	NA		
Lamas Digeridas	pH	Interno	3-002.1	Pontual	2 vezes por semana (domingo) (4ªa feira)	2ª feira 5ª feira		
	Temperatura		3-001.1					
	MS		2-004.1					
	MV							
	Alcalinidade						2-009.2	
	AGV	Externo	NA					
	Ptotal							


Anexo IV

Registos de Monotorização e Controlo Processual



		Contrato Bragança												Ano: 2008					
Análise de Funcionamento - ETAR																			
Controlo Analítico																			
FASE LÍQUIDA																			
Parâmetros de base		Dias de recolha												Média Diária	Valores de referência ou de projecto				
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro						
Afluente Bruto	pH	7,85	8,07	8,22	8,00	7,82	8,07	8,43	7,94	8,22	8,04	8,22	8,22	8,09	-				
	CBO ₅ (mg O2/l)	504	590	611	512	636	629	722	784	775	727	778	758	669	350				
	CQO (mg O2/l)	753	906	995	814	969	955	1181	1256	1281	1179	1129	1066	1040	-				
	SST (mg/l)	273	402	388	318	490	493	385	405	409	426	726	461	431	500				
	N-total (mg N/l)	79	67	87	44	84	115	117	102	112	102	114	127	96	50				
	N-amon.(mg NH4/l)	52	68	71	33	71	92	84	61	57	71	82	82	69	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	0,9	1,1	0,7	1,9	1,2	0,7	1,1	1,6	1,1	1,1	0,8	1,1	1,1	-				
	P-total (mg P/l)	10	15	13	6	12	15	14	14	14	13	14	14	13					
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4					
O&G (mg/l)	100,0	100,0	89,0	93,0	93,0	105,0	91,5	100,5	119,0	119,0	113,0	130,0	104,4	-					
Efluente Decantadores Primários	pH	7,57	7,50	7,54	7,44	7,34	7,21	7,36	7,27	7,07	7,31	8,65	7,70	7,5	-				
	CBO ₅ (mg O2/l)	310	274	339	289	299	274	362	340	326	349	284	378	319	262				
	CQO (mg O2/l)	481	403	494	445	408	385	565	575	582	570	432	551	491	-				
	SST (mg/l)	128	93	139	131	143	134	125	148	144	127	106	231	137	350				
	N-total (mg N/l)	66	58	59	38	63	69	64	93	63	65	68	50	63	50				
	N-amon.(mg NH4/l)	47	37	48	35	63	55	51	63	41	49	52	36	48	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,3	0,7	0,4	0,9	0,8	0,5	1	-				
	P-total (mg P/l)	9,1	10,1	8,6	5,7	7,4	8,4	7,1	10,7	7,3	7,2	7,6	6,5	8,0	18				
Tanque de Anoxia	pH	7,20	7,19	7,33	7,24	7,26	7,19	7,24	6,98	7,11	6,86	7,29	7,43	7,2	-				
	SST (mg/l)	3.558	5.130	1.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3529	-				
	SSV (mg/l)	3.330	4.703	1.871	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3301	-				
	N-amon.(mg NH4/l)	45	62	63	26,1	60	56	84	67,4	71,9	70,6	56,1	51	59	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	7,0	7	5	2,8	4	5	7	7,5	9,9	8,8	10,1	12	7,2	-				
Tanque de Arejamento 1	pH	7,37	7,31	7,42	7,34	7,33	7,33	7,48	7,24	7,39	7,42	7,52	7,49	7,39	6,5 a 8,5				
	SST (mg/l)	4118	3987	3458	3138	4028	4027	4851	5505	5630	5867	5959	5207	4648	2000 a 4000				
	SSV (mg/l)	3783	3540	3458	3138	4028	4027	4851	5505	5630	5330	5522	4770	4465	1500 a 3000				
	CBO5 (mg O2/l)	2400	2200	1800	1400	2600	1600	1200	1200	1400	2000	1200	1800	1733					
	Nitratos (mg NO3/l)	700	650	500	500	150	100	650	500	350	500	450	505	463					
	P-total (mg P/l)	93	76	66	42	66	82	97	100	93	100	100	84	83					
Tanque de Arejamento 2	pH	7,30	7,23	7,15	7,09	7,07	7,01	7,16	7,15	7,06	7,13	7,29	7,20	7,15	6,5 a 8,5				
	SST (mg/l)	3791	4594	4141	3424	4627	4316	4754	5442	5745	5693	5956	5159	4803	2000 a 4000				
	SSV (mg/l)	3497	4273	3915	3154	4183	4033	4391	5089	5104	5311	5563	4870	4449	1500 a 3000				
	CBO5 (mg O2/l)	2800	2800	2400	2220	2800	1600	1400	1000	1200	1800	1600	2000	1968					
	Nitratos (mg NO3/l)	450	350	600	350	100	150	600	450	300	350	300	580	382					
	P-total (mg P/l)	134	76	76	78	68	88	102	102	94	92	98	92	92					
Efluente Final	pH	7,35	7,36	7,26	7,38	7,22	7,21	7,29	7,12	7,14	7,23	7,38	7,37	7,28	6 a 9 ⁽¹⁾				
	CBO ₅ (mg O2/l)	37	42	41	23	29	31	38	37	28	23	22	35	32	25 ⁽²⁾				
	CQO (mg O2/l)	81	89	81	42	46	56	123	126	129	111	97	121	92	125 ⁽²⁾				
	SST (mg/l)	17	21	15	15	21	19	24	25	16	17	15	21	19	35 ⁽²⁾				
	N-total (mg N/l)	40	37	49	13	36	45	40	57	45	52	43	38	41	15 ⁽¹⁾				
	N-amon.(mg NH4/l)	26	27	47	18	37	37	48	43	25	45	38	34	35	10 ⁽¹⁾				
	Nitratos (mg NO3/l)	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	50 ⁽¹⁾				
	P-total (mg P/l)	3,3	3,5	5,9	1,3	2,6	2,9	3,3	3,6	4,5	3,4	1,5	2,6	3,2	10 ⁽¹⁾				
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	2 ⁽¹⁾				
O&G (mg/l)	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	3,0	2,0	2,0	2,5	4,5	2,0	2,0	2,7	15 ⁽¹⁾					

Parâmetros de base		Dias de recolha												Média Diária	Valores de referência ou de projecto
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
FASE SÓLIDA															
Recirculação de Lamas	pH	7,34	7,26	7,29	7,18	7,13	7,12	7,19	7,07	7,18	7,13	7,29	7,23	7,20	-
	SST (mg/l)	8290	8361	7123	7026	8976	7210	7706	8485	9410	11120	9683	9084	8.540	
	SSV (mg/l)	7009	7768	6705	6352	8080	6634	7099	7689	8506	10178	8900	8478	7.783	-
Lamas Primárias	pH	6,57	6,74	6,41	5,75	6,00	5,80	6,42	5,33	5,45	5,80	5,46	5,86	5,97	-
	Matéria Seca (%)	2,9	2,5	2,8	3,7	3,5	3,7	3,8	5,7	5,0	5,9	5,1	4,9	4,1	
	Matéria Volátil (%)	2,4	2,0	2,3	3,0	3,0	3,1	3,2	4,6	4,0	4,8	4,4	4,4	3,4	-
Lamas Mistas	pH	6,57	6,48	6,52	6,32	6,45	4,87	6,36	5,64	5,95	5,82	5,61	6,22	6,07	-
	Matéria Seca (%)	1,8	2,1	1,6	1,8	1,4	1,7	2,8	3,3	3,6	3,4	3,9	2,8	2,5	-
	Matéria Volátil (%)	1,5	1,7	1,4	1,5	1,2	1,4	2,4	2,6	2,9	2,8	3,4	2,5	2,1	-
Lamas Espessadas	pH	6,51	5,51	5,41	5,43	5,23	4,84	5,65	5,29	5,20	5,80	5,03	5,47	5,45	-
	Matéria Seca (%)	3,7	4,5	4,0	4,3	2,4	4,3	5,2	6,3	4,4	5,0	5,6	4,4	4,5	2,5
	Matéria Volátil (%)	3,0	3,6	3,3	3,7	1,9	3,6	4,0	4,8	2,4	3,9	4,8	3,6	3,5	-
Lamas Digeridas 1	pH	7,05	6,56	5,86	6,64	4,85	4,91	5,26	6,15	6,72	7,09	7,42	7,48	6,33	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	3711,1	3293,8	3438,9	3327,8	3062,5	3205,6	4561,1	4205,6	3543,8	3588,9	3694,4	3500,0	3594,4	-
	Matéria Seca (%)	3,0	2,5	3,2	6,1	6,1	6,9	8,6	9,5	8,3	7,6	4,2	-	6,0	
	Matéria Volátil (%)	2,0	1,9	2,3	4,9	4,8	3,2	3,5	3,2	3,0	2,8	2,8	-	3,1	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	2931	3015	1753	2052	1102	2126	2453	4896	5090	5557	5627	4704	3442	-
Lamas Digeridas 2	pH	7,02	6,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,98	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	38,6	35,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9	
	Matéria Seca (%)	2,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-
	Matéria Volátil (%)	1,5	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	2638	2628	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2633	-
Lamas Desidratadas	pH	7,5	7,5	6,1	6,0	5,1	5,1	5,3	5,4	5,9	6,0	5,0	5,0	5,83	-
	Matéria Seca (%)	20,6	18,6	20,6	23,5	24,0	25,3	22,4	18,7	19,2	20,6	20,7	19,4	21,1	-
	Matéria Volátil (%)	15,0	12,8	16,0	16,0	17,7	15,2	17,9	14,0	14,2	15,7	17,0	15,7	15,6	-
Digestão (após digestor n.º1)	Redução de SSV após digestão (%)	25,8	39,9	23,3	-64,1	-166,3	-52,6	5,0	34,7	-66,5	33,7	28,5	-	-14,4	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	67,2	77,0	72,1	80,1	78,6	67,1	72,2	66,4	59,2	55,6	66,1	-	69,2	< 60 %
Digestão (após digestor n.º2)	Redução de SSV após digestão (%)	41,5	53,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,6	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	69,0	68,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68,7	< 60 %
MEIO RECEPTOR															
Montante	pH	7,2	7,6	8,6	7,9	7,6	8,5	9,2	9,0	8,4	7,9	8,0	7,8	8,1	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	2	3	4	3	5	3	6	4	5	2	2	4	4	-
	CQO (mg O ₂ /l)	3	5	8	7	11	5	53	48	102	12	27	68	29	-
	SST (mg/l)	2	2	6	6	5	6	5	5	4	4	10	4	5	-
Jusante	pH	7,3	7,5	7,8	7,7	7,9	7,6	7,5	7,5	7,8	7,7	7,7	7,7	7,6	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	11	8	19	3	13	40	25	20	10	12	15	25	17	-
	CQO (mg O ₂ /l)	18	11	48	23	22	53	131	108	114	82	105	125	70	
	SST (mg/l)	3	15	21	11	7	29	29	16	9	35	16	16	17	
	N-total (mg N/l)	14	14	10	9	5	15	34	36	22	24	29	22	20	-
	P-total (mg P/l)	2	1	2	0	0	3	4	1	2	1	2	1	2	-
Ponte de Alfaião	pH	7,2	7,4	7,8	7,7	7,9	7,5	7,5	7,0	7,3	7,5	8,6	8,0	7,6	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	3	5	19	3	13	40	25	10	5	3	6	8	12	-
	CQO (mg O ₂ /l)	10	7	8	7	11	5	53	99	107	20	84	86	41	-
	SST (mg/l)	2	9	6	6	5	6	5	9	7	8	9	6	7	-
Análise de funcionamento do sistema															
Rendimentos de tratamento (%)	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	92	93	93	95	95	95	95	95	96	97	97	95	95	70 a 90 ⁽²⁾
	CQO (mg O ₂ /l)	89	90	92	95	95	94	89	90	90	90	91	88	91	75 ⁽²⁾
	SST (mg/l)	94	94	95	95	95	96	93	94	96	95	97	95	95	(*) 90 ⁽²⁾
	N-total (mg N/l)	49,4	41,7	43,2	70,3	55,9	60,9	65,6	44,8	58,2	46,3	62,9	70,3	56	
	N-amon.(mg NH ₄ /l)	51,4	65,6	31,4	45,2	48,0	59,3	41,2	28,6	55,4	32,5	54,5	59,0	48	
	Nitratos (mg NO ₃ /l)	87,5	84,7	77,5	66,1	56,3	32,2	80,9	83,2	73,6	67,3	36,5	70,8	68	
	P-total (mg P/l)	66,0	76,5	52,6	77,9	75,5	81,4	76,4	74,1	67,8	76,2	89,2	82,0	75	

Análise de funcionamento do sistema (Cont.)														
	Dias de recolha												Média Diária	Valores de referência ou de projecto
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Cargas afluentes à ETAR														
Caudal médio diário (m³/d)	4.275	4.034	3.300	6.689	3.968	4.297	3.534	3.716	3.951	3.664	3.183	3.987	4.050	HP: 5.685
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	2.037	2.302	2.028	3.467	2.540	2.804	2.485	2.977	3.316	2.766	2.274	2.964	2663	HP: 1.990
Carga de sólidos afluente (kg SST/d)	1.083	1.528	1.287	2.058	1.972	2.188	1.313	1.569	1.715	1.617	2.172	1.852	1696	HP: 2.843
Carga de azoto afluente (kg N/d)	262	246	286	384	329	505	399	410	431	404	359	596	384	HP: 284
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	32	52	42	49	46	68	48	56	55	51	44	69	51	-
Funcionamento dos decantadores primários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	4,85	5,12	5,79	2,97	4,74	4,22	5,46	4,97	4,61	4,92	6,50	5,02	4,93	3,28
Carga hidráulica (m³/m².h)	0,73	0,68	0,58	1,26	0,70	0,79	0,61	0,67	0,75	0,67	0,52	0,71	0,72	1,01
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	1,8	1,7	1,5	3,2	1,8	2,0	1,5	1,7	1,9	1,7	1,3	1,8	1,8	<10
Eficiência (%)	36,7	51,9	44,3	43,3	52,1	55,4	49,8	56,8	57,8	51,7	62,4	49,0	50,9	35
CBO5 (mg O2/l)	51,9	73,4	59,4	53,5	66,2	73,3	64,9	59,9	61,0	68,1	76,5	52,1	63,3	60
SST (mg/l)	51,9	73,4	59,4	53,5	66,2	73,3	64,9	59,9	61,0	68,1	76,5	52,1	63,3	60
Cargas afluentes ao tratamento biológico e relações entre os parâmetros														
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	1.279	1.011	1.115	2.036	1.168	1.229	1.250	1.270	1.406	1.329	827	1.528	1.287	1143
Carga de azoto afluente (kg N/d)	206,0	232,1	205,8	232,3	238,7	322,0	213,5	379,3	241,7	270,4	202,3	305,8	254	-
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	28	40	30	35	28	39	24	44	28	30	23	40	32,4	-
Relação CBO/N-Total	3,9	5,7	4,7	5,7	5,4	6,1	3,4	4,1	3,8	7,7	4,6	8,8	5,3	≤20
Relação CBO/P-Total	28,6	32,7	32,6	37,7	45,9	50,0	31,0	35,5	32,9	69,4	40,8	67,9	42,1	≤100
Relação de CQO/CBO5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,7	1,5	1,5	1,6	≤2
Funcionamento do Processo biológico														
Repartição de caudal para o T.A. 1	52%	47%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	60%	60%	60%	
Repartição de caudal para o T.A. 2	48%	53%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	40%	40%	40%	
Tanque de Arejamento 1														
SST (mg/l)	4.118	3.987	3.458	3.138	4.028	4.027	4.851	5.505	5.630	5.867	5.959	5.207	4.648	2000 a 4000
SSV (mg/l)	3.783	3.540	3.281	2.768	3.582	3.862	4.464	5.484	5.177	5.330	5.522	4.770	4.297	1500 a 3000
SSV/SST	0,92	0,88	0,95	0,89	0,89	0,96	0,92	1,01	0,93	0,91	0,93	0,92	0,93	>0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,62	0,42	0,45	0,82	0,47	0,50	0,50	0,51	0,57	0,54	0,44	0,82	0,56	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,19	0,13	0,14	0,28	0,13	0,13	0,12	0,09	0,11	0,10	0,08	0,18	0,14	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 1	4,28	4,96	6,00	3,95	4,20	4,70	5,58	5,43	3,82	4,05	4,10	3,54	4,55	-
Índice de Mollman (ml/g)	88	100	116	111	93	112	105	91	81	79	80	98	96	<150
Tanque de Arejamento 2														
SST (mg/l)	3.791	4.594	4.141	3.424	4.627	4.316	4.754	5.442	5.745	5.693	5.956	5.159	4.803	-
SSV (mg/l)	3.497	4.273	3.915	3.154	4.183	4.033	4.391	5.089	5.104	5.311	5.563	4.870	4.449	-
SSV/SST	0,92	0,93	0,95	0,92	0,91	0,93	0,92	0,94	0,89	0,93	0,94	0,95	0,93	>0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,85	0,78	0,88	1,61	0,92	0,97	0,99	1,00	1,11	1,05	0,48	0,88	0,96	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,26	0,18	0,23	0,49	0,22	0,25	0,24	0,20	0,23	0,20	0,09	0,19	0,23	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 2	2,74	2,96	3,37	2,20	2,46	2,65	3,14	3,02	2,25	2,39	2,81	2,45	2,70	-
Índice de Mollman (ml/g)	100	107	114	119	97	119	119	101	87	83	77	90	101	<150
Outros parâmetros Operacionais														
Idade das lamas (d)	11,7	16,3	15,2	6,5	10,9	11,2	12,5	12,0	15,2	17,4	35,4	13,3	14,8	6 a 11
Razão de Recirculação (%)	110%	105%	131%	83%	120%	107%	133%	145%	127%	132%	169%	144%	125%	30 a 100
Recirculação de Nitratos do TA1(%)	61%	68%	91%	39%	0%	57%	78%	74%	0%	0%	0%	0%	39%	100 a 300
Recirculação de Nitratos do TA2(%)	33%	38%	49%	22%	0%	32%	43%	41%	0%	0%	0%	0%	21%	100 a 300
TRH (h) Zona Anóxica	2,6	3,1	2,9	1,8	4,4	2,5	3,0	2,8	4,2	4,5	6,0	4,6	3,5	3
TRH (h) Tanque de Arejamento	4,9	5,9	6,4	4,0	5,1	5,0	6,0	5,6	4,7	5,0	5,7	4,8	5,2	4 a 8
Funcionamento dos decantadores secundários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	7,0	7,3	8,3	4,3	6,8	6,1	7,8	7,1	6,6	7,1	9,3	7,2	7,1	4,71
Carga de sólidos (kg/m².h)	3,6	3,2	2,7	4,3	3,6	3,9	4,0	5,2	5,5	5,4	4,9	5,1	4,3	1,5 a 4,8
Carga hidráulica (m³/m².h)	0,4	0,4	0,3	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,6
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	2,1	2,0	1,7	3,6	2,0	2,3	1,7	1,9	2,2	1,9	1,5	2,1	2,1	<10
Eficiência (%) SST (mg/l)	98,4	99,5	99,6	99,6	99,5	99,5	99,5	99,5	99,7	99,7	99,7	99,6	99,5	-
Produção de Subprodutos														
Gradados Kg	35.675												-	-
Areias (Kg)	21.160												-	-
Óleos e Gorduras (m³)	3,5												-	-
Lamas estabilizadas (m³)	1.095												-	-
Lamas estabilizadas (ton MS)	218,51												-	-
Consumíveis														
Energia (kWh)	631.775												-	-
kwh/m³ água residual	0,420												-	-
Água (m³)	114												-	-
m³ água / m³ água residual	0,00008												-	-
Poliectrolito (kg)	1675												-	-
Cal viva (kg)	0												-	-
kg Cal Viva / ton MS	0,0												-	-
kg Cal Viva / m³ água residual	0,0000												-	-
Outros indicadores mensais														
Volume total tratado (m³)	1.502.468												-	-
kg Gradados / m³ água residual	0,024												-	-
kg Areias / m³ água residual	0,014												-	-
kg lama desidratada / m³ água residual	0,145												-	-
CBO5 removido (ton/d)	2,58												-	-
m³ lamas/ton CBO5 removido.d	14,16												-	-
kwh/m³ água tratada	0,420												-	-







		Contrato Bragança												Ano: 2009					
		Análise de Funcionamento - ETAR																	
		Controlo Analítico																	
FASE LÍQUIDA																			
Parâmetros de base		Mês												Média Diária	Valores de referência ou de projecto				
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro						
Afluente Bruto	pH	8,38	8,07	8,20	8,37	8,35	7,94	8,19	8,08	7,88	8,13	7,78	7,75	8,09	-				
	CBO ₅ (mg O2/l)	763	590	760	638	662	853	740	802	773	609	559	353	675	350				
	CQO (mg O2/l)	1134	993	1160	931	995	1343	1068	1199	1175	878	810	534	1018	-				
	SST (mg/l)	650	349	360	350	412	390	416	524	579	483	414	281	434	500				
	N-total (mg N/l)	80	31	60	73	85	83	87	86	85	75	65	69	73	50				
	N-amon.(mg NH4/l)	56	50	42	57	67	84	74	70	66	61	50	47	61	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	1,2	1,8	0,6	0,8	5,6	1,1	1,2	1,1	0,7	0,8	1,0	0,7	1,3	-				
	P-total (mg P/l)	10	8	9	9	11	13	13	10	11	11	14	10	11	-				
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-				
O&G (mg/l)	102,0	81,0	111,0	95,5	98,5	88,0	97,0	85,0	81,0	92,0	96,5	105,5	94,4	-					
Efluente Decantadores Primários	pH	7,81	7,75	7,74	7,61	7,63	7,08	7,32	7,36	7,52	7,44	7,58	7,17	7,5	-				
	CBO ₅ (mg O2/l)	328	265	309	329	329	331	406	478	437	359	328	224	343	262				
	CQO (mg O2/l)	576	453	527	508	487	520	584	682	632	521	493	373	530	-				
	SST (mg/l)	181	136	154	152	159	143	211	205	159	177	188	123	166	350				
	N-total (mg N/l)	32	25	57	80	90	88	55	78	82	50	73	37	62	50				
	N-amon.(mg NH4/l)	29	56	33	60	72	46	51	56	66	50	49	22	49	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	0,4	0,4	0,5	0,5	0,9	1,1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	-				
P-total (mg P/l)	5,6	8,9	8,5	9,5	9,6	7,8	8,1	8,6	10,2	8,2	9,8	7,2	8,5	18					
Tanque de Anoxia	pH	7,34	7,48	7,44	7,40	7,47	7,33	7,31	8,09	7,38	7,47	7,45	7,40	7,5	-				
	SST (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	SSV (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	N-amon.(mg NH4/l)	50	35	50	62,6	56	82	67	54,7	55,4	54,1	53,5	29	54	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	8,0	7	7	7,4	6	2	5	1,0	0,6	0,8	2,8	4	4,2	-				
Tanque de Arejamento 1	pH	7,43	7,58	7,43	7,56	7,56	7,47	7,55	7,76	7,55	7,61	7,54	7,44	7,54	6,5 a 8,5				
	SST (mg/l)	4088	3704	4000	3737	4181	4008	3489	2841	3585	2829	3333	3028	3569	2000 a 4000				
	SSV (mg/l)	3900	3433	3637	3141	3926	3658	3130	2589	3222	2626	2785	2675	3227	1500 a 3000				
	CBO5 (mg O2/l)	1800	1800	2000	2000	2400	2000	1200	1400	1600	1800	1800	1600	1783	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	371	117	510	298	236	288	152	51	54	39	44	28	182	-				
	P-total (mg P/l)	78	46	43	84	36	85	59	8	12	5	10	5	39	-				
	P-total (mg P/l)	78	46	43	84	36	85	59	8	12	5	10	5	39	-				
Tanque de Arejamento 2	pH	7,16	7,27	7,25	7,17	7,22	7,15	7,24	7,34	7,41	7,37	7,44	7,30	7,28	6,5 a 8,5				
	SST (mg/l)	4138	3696	3778	3663	4230	3842	3537	2756	3637	2767	3448	2904	3533	2000 a 4000				
	SSV (mg/l)	3896	3488	3474	3293	3926	3588	3189	2581	3393	2489	3052	2562	3244	1500 a 3000				
	CBO5 (mg O2/l)	1600	1800	1800	2000	2600	1600	1400	1800	1400	1400	1800	1400	1717	-				
	Nitratos (mg NO3/l)	319	74	500	308	279	300	210	51	57	31	33	17	182	-				
	P-total (mg P/l)	76	45	46	76	50	80	65	7	13	3	8	4	39	-				
	P-total (mg P/l)	76	45	46	76	50	80	65	7	13	3	8	4	39	-				
Efluente Final	pH	7,59	7,50	7,39	7,32	7,38	7,32	7,42	7,59	7,52	7,42	7,48	7,39	7,44	6 a 9 ⁽¹⁾				
	CBO ₅ (mg O2/l)	29	13	20	32	25	27	21	21	13	11	10	10	19	25 ⁽²⁾				
	CQO (mg O2/l)	126	92	106	106	105	97	81	89	67	41	31	28	81	125 ⁽²⁾				
	SST (mg/l)	16	10	20	21	18	21	17	12	8	11	8	8	14	35 ⁽²⁾				
	N-total (mg N/l)	21	11	43	38	31	44	49	50	53	33	38	19	36	15 ⁽¹⁾				
	N-amon.(mg NH4/l)	22	23	26	31	44	54	45	49	50	40	32	13	36	10 ⁽¹⁾				
	Nitratos (mg NO3/l)	0,2	0,4	0,3	0,4	0,7	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	50 ⁽¹⁾				
	P-total (mg P/l)	1,5	0,7	4,1	2,4	2,7	2,3	2,4	1,7	2,1	1,4	2,0	1,6	2,1	10 ⁽¹⁾				
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2 ⁽¹⁾				
	O&G (mg/l)	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,3	15 ⁽¹⁾				

Parâmetros de base		Mês												Média Diária	Valores de referência ou de projecto
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
FASE SÓLIDA															
Recirculação de Lamas	pH	7,18	7,25	7,24	7,24	7,31	7,16	7,20	7,45	7,28	7,14	7,20	7,12	7,23	-
	SST (mg/l)	8138	8194	7044	6333	6978	6981	5802	4030	6337	4863	7093	6897	6.557	-
	SSV (mg/l)	7763	7381	6689	6017	6406	6456	5326	3724	5763	4454	6159	5962	6.008	-
Lamas Primárias	pH	5,83	5,79	5,49	5,36	5,32	5,30	5,65	7,07	5,78	5,40	5,52	5,46	5,66	-
	Matéria Seca (%)	4,5	4,6	4,4	5,2	4,9	5,3	5,8	4,5	4,7	6,4	5,0	5,1	5,0	-
	Matéria Volátil (%)	4,1	4,0	3,9	4,4	4,0	3,9	4,6	3,8	3,5	5,1	4,1	4,3	4,1	-
Lamas Mistas	pH	6,31	6,23	6,05	5,85	5,41	5,78	5,93	6,98	6,14	5,64	5,85	5,74	5,99	-
	Matéria Seca (%)	3,0	2,9	2,9	3,0	3,2	3,3	4,0	3,5	2,8	3,7	3,8	4,1	3,3	-
	Matéria Volátil (%)	2,8	2,5	2,5	2,6	2,6	3,1	3,4	3,0	2,2	3,0	3,3	3,3	2,9	-
Lamas Espessadas	pH	5,76	5,27	5,23	5,31	5,02	4,89	5,39	5,92	5,26	5,25	4,78	5,02	5,26	-
	Matéria Seca (%)	3,9	5,1	3,9	4,1	5,6	5,4	5,2	3,8	4,1	4,2	4,4	4,2	4,5	2,5
	Matéria Volátil (%)	3,3	4,0	3,3	3,6	4,4	4,2	3,9	2,9	3,2	3,4	3,5	3,3	3,6	-
Lamas Digeridas 1	pH	5,92	6,07	5,21	5,38	5,98	6,52	6,88	7,17	7,14	7,20	6,54	6,60	6,38	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	3075,0	2681,3	2844,4	2477,8	2255,0	1512,5	1905,6	3072,2	4255,6	4368,8	4372,2	4005,6	3068,8	-
	Matéria Seca (%)	-	4,8	4,9	5,7	6,0	5,8	4,8	5,7	5,3	6,6	6,6	7,8	5,8	-
	Matéria Volátil (%)	-	3,7	3,9	4,8	4,6	5,1	3,9	4,0	3,3	4,5	4,4	5,0	4,3	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	1623	1361	1273	1570	2216	1686	1736	2017	2407	2628	2697	2615	1986	-
Lamas Digeridas 2	pH	-	5,77	5,2	5,3	5,4	5,5	6,1	7,3	6,4	6,6	6,3	6,6	6,04	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	-	24,5	29,0	2388,9	2222,2	1642,5	1892,8	2780,0	4561,1	4387,5	4261,1	4061,1	2568,2	-
	Matéria Seca (%)	-	5,7	6,5	5,7	5,9	6,3	5,0	6,6	6,2	5,9	6,2	7,1	6,1	-
	Matéria Volátil (%)	-	4,9	5,3	4,7	5,0	4,7	4,0	4,1	3,9	3,9	4,6	4,6	4,5	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	-	1683	1292,0	1464,0	1960,0	1906,3	1764,0	1964,0	2442,7	2207,3	2763,1	2358,0	1982	-
Lamas Desidratadas	pH	6,5	-	5,2	5,0	4,8	4,9	5,1	5,4	5,3	5,9	4,9	5,0	5,28	-
	Matéria Seca (%)	20,4	-	24,2	18,2	20,9	20,8	23,2	21,5	21,0	19,5	20,9	21,2	21,1	-
	Matéria Volátil (%)	15,7	-	20,9	15,1	16,5	12,8	17,9	16,2	16,1	15,1	16,3	17,2	16,3	-
Digestão (após digestor n.º1)	Redução de SSV após digestão (%)	-14,0	-43,2	-5,8	-37,5	-9,8	-38,7	-23,6	-48,7	1,6	-57,6	-13,2	-64,7	-29,6	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	72,9	76,9	80,5	83,7	76,2	91,2	84,9	72,6	63,7	70,2	65,7	64,2	75,2	< 60 %
Digestão (após digestor n.º2)	Redução de SSV após digestão (%)	-	-80,6	-52,1	-33,3	-7,4	-7,9	-18,2	-47,2	-31,2	-28,2	-24,7	-49,5	-34,6	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	-	85,2	81,2	82,7	85,2	73,6	86,2	62,0	64,5	68,1	73,6	67,0	75,4	< 60 %
MEIO RECEPTOR															
Montante	pH	7,8	8,0	8,3	8,3	8,0	8,2	7,4	-	7,1	7,9	8,0	7,3	7,8	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	5	5	6	5	6	6	8	6	6	6	5	6	6	-
	CQO (mg O ₂ /l)	86	45	51	17	28	37	32	33	38	35	21	22	37	-
	SST (mg/l)	3	5	8	6	8	7	4	8	4	6	5	6	6	-
Jusante	pH	7,8	7,7	7,7	8,3	7,7	7,6	7,4	-	7,2	7,7	7,3	7,1	7,6	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	15	12	20	10	12	18	12	16	12	14	8	8	13	-
	CQO (mg O ₂ /l)	102	100	100	62	54	71	48	84	67	73	31	26	68	-
	SST (mg/l)	9	10	25	13	12	17	19	11	8	14	8	7	13	-
	N-total (mg N/l)	17	4	17	19	18	22	34	35	20	21	21	9	20	-
	P-total (mg P/l)	1	0	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	-
Ponte de Alfaião	pH	7,5	7,7	7,7	7,4	7,4	7,0	7,0	-	7,2	21,6	7,4	7,2	8,6	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	6	8	6	6	7	7	10	8	7	7	6	7	7	-
	CQO (mg O ₂ /l)	94	71	63	56	47	46	20	37	50	49	26	24	49	-
	SST (mg/l)	7	6	10	10	10	11	4	10	5	8	7	8	8	-
Análise de funcionamento do sistema															
Rendimentos de tratamento (%)	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	96	98	97	95	96	97	97	97	98	98	98	96	97	70 a 90 ⁽²⁾
	CQO (mg O ₂ /l)	88	91	91	88	89	92	92	92	94	95	95	94	92	75 ⁽²⁾
	SST (mg/l)	97	96	94	94	95	95	96	97	98	97	97	96	96	(*) 90 ⁽²⁾
	N-total (mg N/l)	69,1	66,9	27,5	47,9	60,9	44,5	39,1	39,6	37,2	53,6	43,3	72,2	50	
	N-amon. (mg NH ₄ /l)	54,7	53,8	39,6	47,6	31,7	37,3	36,0	27,1	23,3	29,6	31,4	72,0	40	
	Nitratos (mg NO ₃ /l)	67,2	69,6	53,3	48,2	71,4	64,4	62,9	70,8	45,2	67,9	58,3	54,8	61	
	P-total (mg P/l)	85,1	53,8	39,6	47,6	31,7	37,3	36,0	27,1	23,3	29,6	85,5	83,9	48	
	Subst. Tensioactivas (mg/l)		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
	O&G (mg/l)		97,5	97,8	97,9	98,0	97,7	97,9	96,4	97,5	97,8	96,9	97,2	98	

Análise de funcionamento do sistema (Cont.)														
													Média Diária	Valores de referência ou de projecto
	Mês													
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Cargas afluentes à ETAR														
Caudal médio diário (m³/d)	5.906	6.345	4.441	3.831	3.844	3.793	3.561	3.655	2.811	3.875	4.360	7.374	4.483	HP: 5.685
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	3.991	3.438	3.456	2.446	2.606	3.314	2.728	2.898	2.272	2.691	2.266	2.288	2866	HP: 1.990
Carga de sólidos afluente (kg SST/d)	3.027	2.427	1.622	1.346	1.639	1.492	1.541	1.892	1.740	2.086	1.687	1.621	1843	HP: 2.843
Carga de azoto afluente (kg N/d)	433	176	262	278	316	289	304	315	267	271	248	586	312	HP: 284
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	56	44	39	36	42	44	45	38	35	39	50	102	47	-
Funcionamento dos decantadores primários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	3,86	3,42	4,16	4,91	4,74	4,88	5,27	5,21	6,36	4,83	4,52	3,13	4,61	3,28
Carga hidráulica (m³/m².h)	0,99	1,04	0,80	0,68	0,70	0,69	0,65	0,64	0,52	0,79	0,84	1,26	0,80	1,01
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	2,5	2,6	2,0	1,7	1,8	1,7	1,6	1,6	1,3	2,0	2,1	3,1	2,0	< 10
Eficiência (%)	CBO5 (mg O2/l)												47,4	35
	SST (mg/l)												56,0	60
Cargas afluentes ao tratamento biológico e relações entre os parâmetros														
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	1.669	1.544	1.421	1.250	1.300	1.276	1.486	1.743	1.291	1.632	1.313	1.442	1.447	1143
Carga de azoto afluente (kg N/d)	219,2	112,3	252,4	306,1	339,3	304,5	193,3	252,8	249,4	188,4	304,0	539,4	272	-
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	39	40	38	36	36	27	28	28	31	31	41	105	40,0	-
Relação CBO/N-Total	7,9	10,8	8,1	4,5	3,7	3,4	7,2	6,9	4,5	6,5	4,4	2,4	5,9	≤ 20
Relação CBO/P-Total	44,4	30,2	53,9	38,0	34,4	38,5	49,5	62,6	36,3	39,1	32,8	12,5	39,3	≤ 100
Relação de CQO/CBO5	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	1,6	≤ 2
Funcionamento do Processo biológico														
Repartição de caudal para o T.A. 1	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
Repartição de caudal para o T.A. 2	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
Tanque de Arejamento 1														
SST (mg/l)	4.088	3.704	4.000	3.737	4.181	4.008	3.489	2.841	3.585	2.829	3.333	3.028	3.569	2000 a 4000
SSV (mg/l)	3.900	3.433	3.637	3.141	3.926	3.658	3.130	2.589	3.222	2.626	2.785	2.675	3.227	1500 a 3000
SSV/SST	0,94	0,93	0,92	0,83	0,94	0,91	0,89	0,91	0,91	0,93	0,84	0,89	0,90	> 0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,90	0,83	0,76	0,67	0,70	0,69	0,80	0,94	0,69	0,88	0,71	0,78	0,78	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,26	0,24	0,21	0,23	0,18	0,19	0,26	0,39	0,22	0,37	0,27	0,28	0,26	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 1	3,57	3,56	4,12	3,78	4,02	4,31	3,59	8,90	5,37	3,77	3,89	3,41	4,36	-
Índice de Molhman (ml/g)	106	110	126	141	166	164	160	188	164	193	188	239	162	< 150
Tanque de Arejamento 2														
SST (mg/l)	4.138	3.696	3.778	3.663	4.230	3.842	3.537	2.756	3.637	2.767	3.448	2.904	3.533	-
SSV (mg/l)	3.896	3.488	3.474	3.293	3.926	3.588	3.189	2.581	3.393	2.489	3.052	2.562	3.244	-
SSV/SST	0,92	0,94	0,91	0,89	0,93	0,93	0,90	0,94	0,94	0,89	0,88	0,89	0,91	> 0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,96	0,89	0,82	0,72	0,75	0,73	0,86	1,00	0,74	0,94	0,76	0,83	0,83	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,29	0,27	0,27	0,22	0,20	0,21	0,28	0,40	0,22	0,44	0,26	0,31	0,28	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 2	2,58	2,62	3,19	2,65	2,84	3,07	2,49	7,91	3,81	2,66	2,78	2,55	3,26	-
Índice de Molhman (ml/g)	103	112	125	138	153	171	157	211	173	183	165	243	161	< 150
Outros parâmetros Operacionais														
Idade das lamas (d)	8,7	10,8	9,5	9,4	13,8	11,7	9,1	7,5	14,8	7,3	8,2	6,9	9,8	6 a 11
Razão de Recirculação (%)	94%	79%	110%	131%	109%	102%	155%	56%	115%	125%	106%	75%	105%	30 a 100
Recirculação de Nitratos do TA 1(%)	0%	0%	13%	0%	0%	0%	21%	67%	0%	0%	0%	0%	8%	100 a 300
Recirculação de Nitratos do TA 2(%)	0%	0%	24%	0%	0%	0%	16%	9%	0%	0%	0%	0%	4%	100 a 300
TRH (h) Zona Anóxica	3,6	3,1	2,9	4,5	4,4	4,5	3,9	3,6	5,9	4,4	4,2	2,9	4,0	3
TRH (h) Tanque de Arejamento	4,6	4,5	5,0	5,0	5,3	5,6	4,9	9,3	7,0	5,0	5,0	4,2	5,4	4 a 8
Funcionamento dos decantadores secundários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	5,5	4,9	6,0	7,0	6,8	7,0	7,6	7,5	9,1	6,9	6,5	4,5	6,6	4,71
Carga de sólidos (kg/m².h)	4,2	4,0	4,1	3,4	3,6	3,3	3,3	1,8	2,4	2,9	3,1	3,8	3,3	1,5 a 4,8
Carga hidráulica (m³/m².h)	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	2,8	3,0	2,3	1,9	2,0	2,0	1,9	1,9	1,5	2,3	2,4	3,6	2,3	< 10
Eficiência (%) SST (mg/l)	99,6	99,7	99,5	99,4	99,6	99,5	99,5	99,6	99,8	99,6	99,8	99,7	99,6	-

		Contrato Bragança										Ano: 2010											
		Análise de Funcionamento - ETAR																					
Controlo Analítico																							
FASE LÍQUIDA																							
Parâmetros de base		Mês												Média Diária	Valores de referência ou de projecto								
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro										
Afluente Bruto	pH	7,57	7,63	7,91	7,66	8,03	8,18	7,37	7,61	7,75	8,04	7,83	8,08	7,80	-								
	CBO ₅ (mg O2/l)	256	340	336	385	582	558	625	564	622	550	596	576	499	350								
	CQO (mg O2/l)	421	531	496	560	896	885	934	916	1009	841	952	871	776	-								
	SST (mg/l)	197	207	182	231	471	350	395	349	437	361	485	389	338	500								
	N-total (mg N/l)	49	45	39	51	84	100	74	69	61	64	61	63	64	50								
	N-amon.(mg NH4/l)	22	30	24	33	68	76	49	47	39	48	44	45	44	-								
	Nitratos (mg NO3/l)	1,1	2,5	2,0	0,9	1,1	0,7	1,6	3,2	1,9	0,4	0,8	0,6	1,4	-								
	P-total (mg P/l)	9	6	5	7	10	10	8	11	8	9	8	12	9	-								
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-								
	O&G (mg/l)	59,0	71,5	40,0	68,0	98,5	87,5	84,0	85,0	90,0	97,5	96,0	101,0	81,5	-								
Efluente Decantadores Primários	pH	7,41	7,27	7,44	7,38	7,41	7,48	7,23	7,19	7,28	7,12	7,31	7,43	7,3	-								
	CBO ₅ (mg O2/l)	151	197	215	223	317	264	279	291	322	310	278	218	255	262								
	CQO (mg O2/l)	251	334	348	368	496	449	495	523	524	501	434	405	427	-								
	SST (mg/l)	91	117	124	133	190	155	204	203	241	193	189	174	168	350								
	N-total (mg N/l)	35	21	31	22	77	56	69	57	59	83	64	36	51	50								
	N-amon.(mg NH4/l)	6	3	20	15	56	47	39	39	32	60	44	33	33	-								
	Nitratos (mg NO3/l)	0,8	3,0	0,5	0,5	0,7	0,3	0,9	1,1	1,2	0,3	0,5	0,8	0,9	-								
	P-total (mg P/l)	6,1	2,0	4,2	5,5	8,5	7,0	8,1	8,2	6,8	9,1	8,2	10,2	7,0	18								
Tanque de Anoxia	pH	7,29	7,26	7,39	7,29	7,35	7,26	7,21	7,29	7,05	7,22	7,31	7,31	7,3	-								
	SST (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
	SSV (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
	N-amon.(mg NH4/l)	14	15	24	37,2	35	27	56	58,8	49,7	57,7	42,9	39	38	-								
	Nitratos (mg NO3/l)	2,2	1	1	0,1	0	1	1	5,2	1,5	0,2	1,4	4	1,6	-								
Tanque de Arejamento 1	pH	7,40	7,19	7,45	7,40	7,46	7,52	7,39	7,48	7,42	7,38	7,52	7,55	7,43	6,5 a 8,5								
	SST (mg/l)	2230	3067	3485	3354	2733	2756	4050	4863	5287	5404	5363	5433	4002	2000 a 4000								
	SSV (mg/l)	1756	2429	2700	3088	2278	2537	3696	4273	4463	4638	3696	4030	3299	1500 a 3000								
	CBO5 (mg O2/l)	1800	1800	1600	1400	1600	1600	1600	1600	1800	1200	1800	1800	1633	-								
	Nitratos (mg NO3/l)	45	144	35	39	128	55	58	48	60	54	50	44	63	-								
	P-total (mg P/l)	13	23	5	4	6	5	13	22	12	5	8	7	10	-								
Tanque de Arejamento 2	pH	7,33	7,09	7,31	7,34	7,33	7,35	7,25	7,28	7,21	7,18	7,38	7,33	7,28	6,5 a 8,5								
	SST (mg/l)	2204	3050	3756	3525	2763	2630	3754	4910	5270	5562	5433	5400	4021	2000 a 4000								
	SSV (mg/l)	1652	2533	3159	3275	2289	2311	3479	4303	4477	4864	3689	3978	3334	1500 a 3000								
	CBO5 (mg O2/l)	1600	1600	1800	1600	1600	1400	1400	1600	1600	1400	1800	1600	1583	-								
	Nitratos (mg NO3/l)	44	106	34	33	95	51	58	62	48	48	49	46	56	-								
	P-total (mg P/l)	7	21	5	4	4	2	8	29	9	7	7	7	9	-								
Efluente Final	pH	7,37	7,16	7,45	7,33	7,39	7,46	7,47	7,35	7,29	7,26	7,46	7,41	7,37	6 a 9 ⁽¹⁾								
	CBO ₅ (mg O2/l)	17	20	16	16	13	15	14	13	17	11	11	11	15	25 ⁽²⁾								
	CQO (mg O2/l)	70	75	55	45	50	63	60	56	50	47	51	48	56	125 ⁽²⁾								
	SST (mg/l)	16	16	10	10	11	15	13	12	15	11	9	11	12	35 ⁽²⁾								
	N-total (mg N/l)	15	17	25	20	26	32	37	43	40	36	34	30	29	15 ⁽¹⁾								
	N-amon.(mg NH4/l)	7	12	21	16	21	26	33	33	27	32	28	21	23	10 ⁽¹⁾								
	Nitratos (mg NO3/l)	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	1,1	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	50 ⁽¹⁾								
	P-total (mg P/l)	2,4	1,7	1,2	1,1	1,5	1,9	0,9	1,1	1,2	1,0	0,9	2,4	1,4	10 ⁽¹⁾								
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	2 ⁽¹⁾								
	O&G (ma/l)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,5	2,0	3,5	2,3	15 ⁽¹⁾								

Parâmetros de base		Mês												Média Diária	Valores de referência ou de projecto
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
FASE SÓLIDA															
Recirculação de Lamas	pH	7,15	6,92	7,91	6,96	7,08	7,06	7,00	7,74	6,77	6,75	6,92	6,85	7,09	-
	SST (mg/l)	4626	7727	9641	9431	7467	5544	8400	8745	9775	8892	9183	8933	8.197	-
	SSV (mg/l)	3893	6067	7969	8194	6678	4678	6519	7065	6855	6827	6850	6339	6.494	-
Lamas Primárias	pH	5,87	6,05	5,64	5,64	5,54	5,81	5,50	4,69	5,83	5,60	6,53	6,28	5,75	-
	Matéria Seca (%)	5,2	4,6	4,5	5,3	5,8	5,6	5,7	5,6	5,5	5,1	3,9	4,8	5,1	-
	Matéria Volátil (%)	4,2	3,6	3,6	4,6	4,5	4,1	4,5	4,2	4,6	4,3	2,8	3,8	4,1	-
Lamas Mistas	pH	6,15	6,44	5,95	5,96	5,84	6,17	5,69	5,41	6,12	5,83	6,56	6,44	6,05	-
	Matéria Seca (%)	2,6	3,5	3,0	4,1	4,1	3,7	3,9	3,7	4,3	4,2	2,9	4,1	3,7	-
	Matéria Volátil (%)	2,2	3,0	2,6	3,5	3,5	2,7	3,2	2,8	3,6	3,5	2,5	3,5	3,1	-
Lamas Espessadas	pH	5,30	5,34	5,30	5,62	5,17	5,17	4,80	5,30	5,78	5,03	5,31	5,42	5,29	-
	Matéria Seca (%)	3,3	4,6	4,3	5,7	5,6	6,2	5,3	5,0	5,0	4,7	3,8	4,6	4,8	2,5
	Matéria Volátil (%)	2,9	3,6	3,5	3,9	4,3	4,3	4,2	4,0	4,2	4,2	2,8	3,6	3,8	-
Lamas Digeridas 1	pH	6,54	6,89	7,08	6,70	6,57	6,65	6,13	7,11	7,21	7,20	7,09	7,18	6,86	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	4044,4	4037,5	3950,0	3981,3	3944,4	3805,6	3981,3	3825,0	3870,0	3685,0	3783,3	3855,6	3896,9	-
	Matéria Seca (%)	7,9	7,3	7,1	7,2	7,7	6,9	7,7	7,7	7,4	7,1	5,9	5,8	7,2	-
	Matéria Volátil (%)	5,6	5,0	5,1	5,2	5,3	5,1	5,3	5,7	5,6	5,2	4,2	4,2	5,1	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	2160	2192	2036	1692	2300	2657	2664	2399	2365	2429	2088	1784	2231	-
Lamas Digeridas 2	pH	6,86	6,85	6,9	6,6	6,3	5,8	6,6	7,4	7,0	7,4	7,2	7,2	6,84	-
	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	4116,7	4156,3	4038,9	4100,0	3916,7	3800,0	3962,5	3790,0	3915,0	3770,0	3738,9	3811,1	3926,3	-
	Matéria Seca (%)	7,9	6,7	7,2	7,4	7,5	7,8	7,4	7,7	7,7	7,1	6,0	5,7	7,2	-
	Matéria Volátil (%)	5,6	4,6	4,9	5,6	5,3	5,8	5,1	5,5	5,7	5,2	4,6	4,3	5,2	-
	AGV* (mg/L CH ₃ COOH)	2203	2218	2052,0	1768,5	2286,7	2717,3	2674,5	2445,2	2320,8	2406,6	2202,0	1872,0	2264	-
Lamas Desidratadas	pH	5,3	5,5	5,7	5,0	5,9	6,2	5,6	5,4	6,5	6,0	6,4	5,8	5,78	-
	Matéria Seca (%)	19,1	19,2	21,0	19,8	19,9	21,2	19,3	20,0	18,6	20,6	20,5	19,8	19,9	-
	Matéria Volátil (%)	15,7	16,5	15,9	14,9	14,9	18,2	17,1	15,8	15,2	15,6	14,4	16,0	15,8	-
Digestão (após digestor n.º1)	Redução de SSV após digestão (%)	-103,1	-48,9	-43,9	-55,6	-25,3	-14,8	-38,0	-49,1	-33,9	-18,6	-43,9	-23,5	-41,5	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	71,6	69,9	71,9	71,9	68,3	74,5	68,4	74,5	76,1	73,5	71,7	71,5	72,0	< 60 %
Digestão (após digestor n.º2)	Redução de SSV após digestão (%)	-116,4	-36,6	-33,0	-53,2	-33,6	-36,5	-22,1	-41,8	-32,4	-8,0	-65,4	-22,2	-41,8	>40 %
	MS/MV após digestão (%)	70,9	69,1	68,8	75,6	70,9	75,5	69,2	70,5	73,9	73,7	77,2	75,7	72,6	< 60 %
MBO RECEPTOR															
Montante	pH	7,3	7,2	7,2	7,2	7,4	8,3	7,9	7,7	7,5	7,5	7,3	7,4	7,49	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	9	7	7	6	7	6	6	6	7	6	7	8	7	-
	CQO (mg O ₂ /l)	46	24	24	27	26	25	25	29	36	39	34	27	30	-
	SST (mg/l)	6	8	5	9	8	7	7	7	9	6	6	7	7	-
	N-total (mg N/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	4,4	-
	P-total (mg P/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,252	0,252	-
Jusante	pH	7,2	7,1	7,2	7,3	7,5	7,6	7,6	7,1	7,2	7,4	7,4	7,4	7,35	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	16	10	9	8	9	10	8	8	10	8	10	10	10	-
	CQO (mg O ₂ /l)	77	32	40	34	35	32	42	41	44	41	45	44	42	-
	SST (mg/l)	10	11	8	11	9	11	9	10	11	10	9	10	10	-
	N-total (mg N/l)	10,8	8,3	7,1	5,9	5,5	7,3	11,3	9,4	10,2	7,9	10,8	8,7	8,6	-
	P-total (mg P/l)	0,240	0,181	0,220	0,164	0,214	0,762	0,834	0,622	0,403	0,626	0,413	0,361	0,420	-
Ponte de Alfaião	pH	7,3	7,4	7,4	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6	7,4	7,4	7,3	7,4	7,42	-
	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	10	9	8	7	8	8	7	7	9	7	8	9	8	-
	CQO (mg O ₂ /l)	49	28	37	28	8	9	28	36	38	37	39	35	31	-
	SST (mg/l)	9	10	7	8	8	9	8	8	10	8	7	8	8	-
	N-total (mg N/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	6,7	-
	P-total (mg P/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,308	0,308	-
Análise de funcionamento do sistema															
Rendimentos de tratamento (%)	CBO ₅ (mg O ₂ /l)	92	93	94	95	98	97	98	98	97	98	98	98	96	90 ⁽²⁾
	CQO (mg O ₂ /l)	82	84	88	91	94	93	93	94	95	94	94	94	91	75 ⁽²⁾
	SST (mg/l)	92	92	93	95	97	95	96	96	97	97	98	97	96	(*) 90 ⁽²⁾
	N-total (mg N/l)	70,3	58,8	34,6	61,2	67,6	68,2	50,5	36,6	34,9	39,4	45,1	53,0	52	
	N-amon.(mg NH ₄ /l)	67,1	54,0	15,1	53,9	65,6	65,8	32,7	29,6	31,0	33,8	35,8	53,1	45	
	Nitratos (mg NO ₃ /l)	73,9	92,2	85,5	87,1	80,6	63,2	70,9	66,1	83,2	85,4	73,3	44,6	76	
	P-total (mg P/l)	70,5	59,1	77,0	85,2	81,8	77,5	88,2	89,9	83,8	89,4	76,2	62,3	78	
	Subst. Tensioactivas (mg/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
O&G (mg/l)	96,5	96,7	94,7	96,9	98,0	97,7	97,6	97,6	96,7	97,4	97,9	96,5	97		

Análise de funcionamento do sistema (Cont.)														
	Mês												Média Diária	Valores de referência ou de projecto
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
Cargas afluentes à ETAR														
Caudal médio diário (m³/d)	10.699	8.879	9.059	7.989	5.568	4.286	3.692	3.555	3.519	5.419	4.801	8.730	6.350	HP: 5.685
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	2.406	2.576	2.723	3.170	3.396	2.404	2.292	2.021	2.203	3.161	2.494	5.308	2846	HP: 1.990
Carga de sólidos afluente (kg SST/d)	1.943	1.643	1.568	1.897	2.746	1.478	1.463	1.257	1.534	2.110	2.019	3.365	1918	HP: 2.843
Carga de azoto afluente (kg N/d)	622	407	282	478	632	399	264	260	232	308	244	402	377	HP: 284
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	120	52	37	65	76	42	29	42	29	44	32	82	54	-
Funcionamento dos decantadores primários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	2,09	2,77	2,29	2,55	3,61	4,47	5,07	5,22	5,36	3,41	4,51	2,39	3,64	3,28
Carga hidráulica (m³/m².h)	1,98	1,64	1,58	1,41	0,98	0,76	0,65	0,63	0,62	1,03	0,74	1,68	1,14	1,01
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	5,0	4,1	3,9	3,5	2,5	1,9	1,6	1,6	1,6	2,6	1,8	4,2	2,9	< 10
Eficiência (%)	CBO5 (mg O2/l)												40,8	35
	SST (mg/l)												52,1	60
Cargas afluentes ao tratamento biológico e relações entre os parâmetros														
Carga orgânica afluente (kg CBO5/d)	1.386	1.481	1.655	1.852	1.736	1.133	1.035	1.047	1.134	1.815	1.170	1.988	1.453	1143
Carga de azoto afluente (kg N/d)	247,5	397,8	199,2	164,1	409,1	234,1	247,0	219,9	256,7	376,5	263,2	304,2	277	-
Carga de fósforo afluente (kg P/d)	44	38	27	40	45	29	29	32	29	41	33	85	39,4	-
Relação CBO/N-Total	7,2	4,9	6,1	9,4	5,7	5,7	6,1	7,4	5,4	4,6	4,5	6,6	6,1	≤ 20
Relação CBO/P-Total	40,8	52,0	45,7	38,3	51,6	45,9	52,0	51,3	47,3	41,7	35,5	23,5	43,8	≤ 100
Relação de CQO/CBO5	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7	1,9	1,9	1,6	1,6	1,6	1,9	1,7	≤ 2
Funcionamento do Processo biológico														
Repartição de caudal para o T.A. 1	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	
Repartição de caudal para o T.A. 2	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
Tanque de Arejamento 1														
SST (mg/l)	2.230	3.067	3.485	3.354	2.733	2.756	4.050	4.863	5.287	5.404	5.363	5.433	4.002	2000 a 4000
SSV (mg/l)	1.756	2.429	2.700	3.088	2.278	2.537	3.696	4.273	4.463	4.638	3.696	4.030	3.299	1500 a 3000
SSV/SST	0,79	0,78	0,78	0,92	0,83	0,93	0,90	0,88	0,85	0,86	0,69	0,74	0,83	> 0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,75	0,80	0,89	1,00	0,93	0,61	0,56	0,56	0,61	0,98	0,63	1,07	0,78	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,42	0,32	0,35	0,35	0,45	0,27	0,16	0,13	0,14	0,21	0,17	0,27	0,27	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 1	4,25	4,00	3,31	3,53	4,77	6,46	6,95	6,49	7,78	6,35	7,11	4,14	5,43	-
Índice de Mollman (ml/g)	89	91	113	164	198	107	109	100	96	91	78	77	109	< 150
Tanque de Arejamento 2														
SST (mg/l)	2.204	3.050	3.756	3.525	2.763	2.630	3.754	4.910	5.270	5.562	5.433	5.400	4.021	-
SSV (mg/l)	1.652	2.533	3.159	3.275	2.289	2.311	3.479	4.303	4.477	4.864	3.689	3.978	3.334	-
SSV/SST	0,76	0,83	0,84	0,93	0,82	0,87	0,91	0,88	0,85	0,87	0,68	0,74	0,83	> 0,7
F/V (kg CBO5/m³.d)	0,80	0,85	0,95	1,07	1,00	0,65	0,60	0,60	0,65	1,04	0,67	1,14	0,84	0,5 a 1,0
F/M (kg CBO5/kg SSV.d)	0,49	0,34	0,30	0,35	0,47	0,32	0,19	0,14	0,15	0,21	0,19	0,30	0,29	0,2 a 0,5
TRH (h) Tanque de Arejamento 2	3,70	3,15	2,67	2,75	3,67	5,09	5,40	4,99	6,21	5,39	5,76	3,42	4,35	-
Índice de Mollman (ml/g)	98	83	104	147	206	108	98	104	82	76	69	70	104	< 150
Outros parâmetros Operacionais														
Idade das lamas (d)	4,3	5,9	7,2	7,2	5,0	8,3	9,8	12,7	12,6	12,1	12,5	8,5	8,9	6 a 11
Razão de Recirculação (%)	9%	36%	44%	45%	49%	38%	47%	63%	48%	18%	35%	22%	38%	30 a 100
Recirculação de Nitratos do TA 1(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100 a 300
Recirculação de Nitratos do TA 2(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100 a 300
TRH (h) Zona Anóxica	1,9	2,5	2,1	2,3	3,2	4,1	4,7	4,8	4,9	3,1	4,2	2,2	3,3	3
TRH (h) Tanque de Arejamento	4,4	4,6	3,8	4,1	5,5	7,5	8,1	7,7	8,9	6,8	8,0	4,5	6,2	4 a 8
Funcionamento dos decantadores secundários														
N.º de decantadores	3												3	3
Tempo de retenção hidráulico (h)	3,0	4,0	3,3	3,7	5,2	6,4	7,3	7,5	7,7	4,9	6,5	3,4	5,2	4,71
Carga de sólidos (kg/m².h)	2,8	3,8	4,5	4,0	2,3	1,7	2,3	3,0	2,9	3,8	3,2	6,5	3,4	1,5 a 4,8
Carga hidráulica (m³/m².h)	1,2	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	1,0	0,7	0,6
Taxa linear de descarga (m³/m.h)	5,7	4,7	4,5	4,1	2,8	2,2	1,9	1,8	1,8	3,0	2,1	4,9	3,3	< 10
Eficiência (%) SST (mg/l)	99,3	99,5	99,7	99,7	99,6	99,4	99,7	99,8	99,7	99,8	99,8	99,8	99,6	-