



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE

MIGUEL MARIA CAMPOS PERDIGOTO DE MENDES PIRES

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

VALORIZAÇÃO DE LAMAS DE ETA NA ETAPA DE CONDICIONAMENTO DE LAMA DE ETAR

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE, perfil Engenharia Sanitária

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2021

VALORIZAÇÃO DE LAMAS DE ETA NA ETAPA DE CONDICIONAMENTO DE LAMA DE ETAR

MIGUEL MARIA CAMPOS PERDIGOTO DE MENDES PIRES

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Orientador: Leonor Miranda Monteiro do Amaral,
Professora Associada, NOVA University Lisbon

Coorientador: Sónia Cristina Cristóvão Mexia,
Eng^a, EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.

Júri:

Presidente: António Pedro Macedo Coimbra Mano, Professor Auxiliar,
NOVA University Lisbon

Arguente: António João Carvalho de Albuquerque, Professor Associado,
Universidade da Beira Interior

Vogais: Pedro Miguel Fontes de Matos, Eng^o,
EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A

Leonor Miranda Monteiro do Amaral, Professora Associada,
NOVA University Lisbon

Valorização de lamas de ETA na etapa de condicionamento de lama de ETAR

Copyright © Miguel Pires, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Leonor Amaral, por todo o conhecimento que me transmitiu, pela sua disponibilidade em resolver todos os problemas inerentes à presente dissertação, bem como todo apoio que me deu ao longo dos cinco anos do curso. É de louvar o seu notório empenho e paixão pelo curso de Engenharia do Ambiente. Por tudo isto, o meu enorme obrigado.

Ao Engenheiro Pedro Fontes, pela proposta deste desafio, pela sua dedicação à área da investigação/inação, aqui deixo o meu obrigado pelo apoio prestado ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Engenheiro Miguel Borges por me ter ajudado a arranjar a matéria-prima para o presente estudo.

À Engenheira Sónia Mexia por ter aceitado, com toda a simpatia e disponibilidade, coorientar a minha dissertação e por me ter recebido na ETAR de Castelo Branco.

Aos Engenheiros da ETAR de Castelo Branco, Susana Figueiredo, Vânia Gonçalves e Rui Nunes, que partilharam muito do seu conhecimento, bem como muitas das suas experiências do terreno. Um enorme bem-haja a todos os operadores da ETAR de Castelo Branco que se disponibilizaram de imediato para me ajudar em tudo o que precisasse. Não posso deixar de salientar a imensa cumplicidade e espírito de entreaajuda que toda a equipa da ETAR de Castelo Branco demonstrou.

Quero também agradecer à Universidade da Beira Interior, em especial ao Professor António Albuquerque, e aos Engenheiros José Machado e Rui Miguel, que me disponibilizaram o equipamento para determinar a viscosidade e me receberam com toda a amabilidade.

À minha querida avó, que me acolheu na sua casa e por toda a ajuda que me deu. Aos meus tios e primos pelo apoio e paciência que tiveram.

Aos meus pais, por toda a confiança nas minhas capacidades e carinho que me deram. Por último, um especial agradecimento à minha irmã, minha companheira de vida, por todo o amor, paciência e orientação.

Resumo

A presente dissertação pretendeu avaliar o desempenho de lamas geradas nas estações de tratamento de águas (ETA) da Asseiceira e de Santa Águeda, como condicionador a montante da operação de desidratação em estações de tratamento de água residual (ETAR). Neste estudo, foi analisada a eficácia das lamas das ETA (LETA) na ETAR de Castelo Branco.

Com vista à concretização do objetivo definido, foram realizados ensaios laboratoriais de resistência específica à filtração, utilizando várias dosagens de lamas das ETA no condicionamento de LMND (lama mista não digerida) e LMD (lama mista digerida) da ETAR de Castelo Branco. Complementarmente, realizaram-se também ensaios de resistência específica à filtração, tendo sido utilizadas várias dosagens de polímero no condicionamento de LMND e LMD da ETAR de Castelo Branco, de modo a possibilitar a comparação entre os dois métodos de condicionamento, físico e químico.

Neste trabalho, concluiu-se que a implementação de um sistema de doseamento de LETA de Santa Águeda como condicionador da LMD não se verificou benéfico, uma vez que não houve uma redução significativa da resistência específica à filtração, contrariamente o condicionamento com a LETA da Asseiceira reduziu em 16%, 6% e 56% a resistência à filtração com, respetivamente, as dosagens de 0,5:1; 0,75:1 e 1,5:1.

Os resultados de resistência específica à filtração no condicionamento de LMND com LETA revelaram-se promissores. Observou-se que a dosagem ótima de LETA da Asseiceira foi de 1g de LETA para 1g de matéria seca de lama (1,00:1). Esta dosagem obteve um valor de SRF de $6,05 \times 10^{12}$ m/kg face à resistência específica de filtração do ensaio a branco (de $1,89 \times 10^{13}$ m/kg).

Foi possível também observar que a dosagem 0,20:1 com LETA de Santa Águeda e da Asseiceira foi, também ela, muito promissora, visto que se obteve uma SRF de $9,99 \times 10^{12}$ m/kg e de $1,09 \times 10^{13}$ m/kg, respetivamente.

O condicionamento de LMND com LETA verificou ser exequível, sendo esperado que esta melhore a capacidade de desidratação de LMND de ETAR. A utilização de LETA nas ETAR gera, assim, um novo uso deste subproduto das ETA, contribuindo, desta forma, para uma economia circular.

Palavras-chave: Lama, ETA, Desidratação, ETAR, Eficácia, SRF, Economia circular.

Abstract

This dissertation aims to evaluate the performance of sludge generated in the water treatment plants (WTP) of Asseiceira and Santa Águeda, as a conditioner upstream of the dewatering operation in wastewater treatment plants (WWTP). In this study, the effectiveness of the WTP sludge in the Castelo Branco WWTP was analyzed.

In order to achieve the objective, laboratory tests of specific resistance to filtration were performed using various dosages of WTP sludge in the conditioning of mixed and digested sludge from the Castelo Branco WWTP. In addition, specific filtration resistance tests were also performed using various dosages of polymer in the mixed and digested sludge conditioning of Castelo Branco WWTP, in order to allow comparison between the two conditioning methods, physical and chemical.

In this work, it was concluded that the implementation of a system for dosing the Santa Águeda sludge as a conditioner for the digested sludge was not beneficial, since there was no significant reduction in the specific filtration resistance, on the other hand the conditioning with Asseiceira sludge reduced by 16% 6% and 56% the filtration resistance with dosages of 0.5:1; 0.75:1 and 1.5:1.

The results of specific resistance to filtration in conditioning mixed sludge with water treatment plants sludge proved promising. It is observed in the present study that the optimum dosage of water treatment plants sludge from Asseiceira was 1g of WTP sludge to 1g of sludge dry matter (1.00:1). This dosage obtained an SRF value of 6.05×10^{12} m/kg against the specific filtration resistance of the blank (of 1.89×10^{13} m/kg).

Finally, it was also possible to observe that the dosage 0.20:1 with WTP sludge from Santa Águeda and Asseiceira was also very promising since it obtained an SRF of 9.99×10^{12} m/kg and 1.09×10^{13} m/kg, respectively.

The conditioning of mixed sludge with WTP sludge proved to be beneficial, and it is expected to improve the dewatering capacity of mixed WWTP sludge. The use of WTP sludge in WWTP generates a new use of the sludge WTP, thus contributing to a circular economy.

Keywords: Sluge, WTP, Dewatering, WWTP, Effectiveness, SRF, Circular Economy.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Organização da dissertação	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 Composição das lamas	3
2.2 Presença de água nas lamas	4
2.3 Processo de desidratação	5
2.4 Condicionamento da Lama	6
2.4.1. Fatores que afetam o condicionamento	7
2.4.2. Condicionamento por via química	10
2.4.3. Condicionamento físico	14
2.4.4. Avaliação do condicionamento	18
2.5 Floculação e Coagulação	23
2.5.1. Coagulação	23
2.5.2. Floculação	25
3. METODOLOGIA	27
3.1 ETAR de Castelo Branco	27
3.2 ETA Asseiceira, Tomar	34
3.3 ETA de Santa Águeda	35
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Campanhas de amostragem	39
4.2 Caracterização da lama micronizada de ETA (Fase 1)	39
4.3 Caracterização da lama de ETAR (Fase 2)	40
4.4 Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento físico (Fase 3)	40
4.5 Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico (Fase 4)	41
4.5.1. Preparação do reagente	41
4.5.2. Ensaio SRF	43

5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1	Caracterização da lama micronizada de ETA.....	45
5.2	Caracterização da lama de ETAR.....	45
5.3	Capacidade de desidratação com condicionamento físico	45
5.3.1.	Capacidade de desidratação da lama mista digerida com condicionamento físico	46
5.3.2.	Capacidade de desidratação da lama mista com condicionamento físico	49
5.4	Capacidade de desidratação com condicionamento químico	52
5.4.1.	Desidratação da lama mista digerida com Ambifloc®AP 1000 P	52
5.4.2.	Desidratação da lama mista com Ambifloc®AP300 EM.....	56
6.	CONCLUSÃO.....	59
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS.....	67
	Anexo I- Tabela síntese métodos de condicionamento	69
	Anexo II- Diferentes tipos e doses de condicionamento de lama. Resistência específica à filtração em função do condicionador e tipo/fonte de lama	71
	Anexo III-Licença de descarga ETAR Castelo Branco	72
	Anexo IV- Diagrama ETAR Castelo Branco Fonte:ADP202	74
	Anexo V- Esquema de tratamento da fase líquida da ETAR Castelo Branco	76
	Anexo VI- Esquema tratamento da fase sólida da ETAR Castelo Branco.....	78
	Anexo VII- Esquema ETA Asseiceira	80
	Anexo VIII- Esquema ETA Santa Águeda	82
	Anexo IX – Metodologia para determinação do pH (método potenciométrico)	84
	Anexo X – Metodologia para determinação da condutividade elétrica	86
	Anexo XI – Metodologia para determinação de sólidos	88
	Anexo XIII - Caracterização da LETA da Asseiceira	92
	Anexo XIV - Caracterização da LETA de Santa Águeda.....	98
	Anexo XV- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama mista digerida condicionada com lama da Asseiceira, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis	100

Anexo XVI- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista digerida condicionada com lama de ETA de Santa Águeda, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis	102
Anexo XVII- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com lama da Asseiceira, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis	104
Anexo XVIII- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com lama de ETA de Santa Águeda, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis	106
Anexo XIX- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama digerida condicionada com polímero Ambifloc®AP 1000 P.....	108
Anexo XX- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com polímero Ambifloc®AP300 EM	110
Anexo XXI- Resultados do ajuste de uma equação linear (regressão linear) aos dados t/v vs v.....	112

ÍNDICE FIGURAS

FIGURA 2.1-REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM BIOFLOCO	3
FIGURA 2.2-DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS DIFERENTES TIPOS DE LIGAÇÃO ÁGUA-LAMA.....	5
FIGURA 2.3- VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES DAS PARTÍCULAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE LAMA.....	13
FIGURA 2.4- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BOLO DE LAMA	17
FIGURA 2.5- ENSAIO <i>JAR-TEST</i>	18
FIGURA 2.6- SRF VS DOSE DE CONDICIONADOR.....	19
FIGURA 2.7- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA MONTAGEM DO ENSAIO DE SRF.....	20
FIGURA 2.8-TEMPO/VOLUME VS VOLUME DE FILTRADO	20
FIGURA 2.9- DIFERENÇA ENTRE A FORMAÇÃO DE UMA CAMADA Densa OU DESAGREGADA NA BASE DA COLUNA.....	22
FIGURA 2.10- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO DE CST	22
FIGURA 2.11- DIFERENTES CAMADAS DA PARTÍCULA	23
FIGURA 2.12- FORMAÇÃO DE AGREGADOS POR POLÍMEROS ORGÂNICOS.....	24
FIGURA 2.13-EFEITO DA ADIÇÃO DE SAIS NA REDUÇÃO DO POTENCIAL ELETROSTÁTICO.	25
FIGURA 3.1- LOCALIZAÇÃO DA ETAR CASTELO BRANCO.....	27
FIGURA 3.2- IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS EDIFÍCIOS/PROCESSOS/EQUIPAMENTOS DA ETAR.	28
FIGURA 3.3-ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SEDIPAC 3D®	29
FIGURA 3.4- ETA ASSEICEIRA.....	34
FIGURA 3.5- CASCATA DE AREJAMENTO, ENTRADA DE ÁGUA BRUTA.....	35
FIGURA 3.6-SATURADORES, PRODUÇÃO DE ÁGUA DE CAL.....	35
FIGURA 4.1- LAMAS DE ETA DA ASSEICEIRA (A) E DE SANTA ÁGUEDA (B), VISTA PERFIL.....	37
FIGURA 4.2- LAMAS DE ETA DA ASSEICEIRA (A) E DE SANTA ÁGUEDA (B), VISTA SUPERIOR	37
FIGURA 4.3- LOCAL DE AMOSTRAGEM DA LAMA MISTA.....	39
FIGURA 4.4-LOCAL DE AMOSTRAGEM DA LAMA Digerida.	39
FIGURA 4.5-ESQUEMA METODOLÓGICO DO ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DESIDRATAÇÃO DA LAMA ATRAVÉS DO CONDICIONAMENTO FÍSICO.	41
FIGURA 4.6-PREPARAÇÃO DO POLÍMERO EM EMULSÃO (AMBIFLOC®AP300 EM).....	42
FIGURA 4.7-PREPARAÇÃO DO POLÍMERO SOB FORMA GRANULADO (AMBIFLOC®AP 1000 P).....	43
FIGURA 4.8-ESQUEMA METODOLÓGICO DO ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DESIDRATAÇÃO DA LAMA ATRAVÉS DO CONDICIONAMENTO QUÍMICO.	43
FIGURA 5.1-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LAMA Digerida COM LETA DA ASSEICEIRA.....	46
FIGURA 5.2-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LAMA Digerida COM LETA DE SANTA ÁGUEDA	47
FIGURA 5.3-RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO DO CONDICIONAMENTO DA LAMA Digerida COM LETA.	48
FIGURA 5.4-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LMND COM LETA DA ASSEICEIRA.	49
FIGURA 5.5-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LMND COM LETA DE SANTA ÁGUEDA	50
FIGURA 5.6-RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO DO CONDICIONAMENTO DA LMND COM LETA.	51
FIGURA 5.7-ENSAIO <i>JAR-TEST</i> NO CONDICIONAMENTO DA LAMA MISTA Digerida.....	52
FIGURA 5.8-RESULTADOS ENSAIOS DE <i>JAR-TEST</i> NA LAMA MISTA Digerida.....	53
FIGURA 5.9-TESTE DE FILTRAÇÃO POR GRAVIDADE DA LAMA Digerida CONDicionada.	54
FIGURA 5.10-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LAMA Digerida COM POLÍMERO... ..	54
FIGURA 5.11-RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO DO CONDICIONAMENTO DA LAMA Digerida COM POLÍMERO.	55
FIGURA 5.12-ENSAIO <i>JAR-TEST</i> NO CONDICIONAMENTO DA LAMA MISTA.	56
FIGURA 5.13-RESULTADOS ENSAIOS DE <i>JAR-TEST</i> NA LAMA MISTA.	57
FIGURA 5.14-VOLUME VS TEMPO DE FILTRAGEM NO ENSAIO DO CONDICIONAMENTO DE LMND COM POLÍMERO.....	58
FIGURA 5.15-RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO DO CONDICIONAMENTO DA LMND COM POLÍMERO.	58
FIGURA 7.1-ESQUEMA METODOLÓGICO DO ENSAIO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE DESIDRATAÇÃO DA LAMA ATRAVÉS DO CONDICIONAMENTO QUÍMICO E FÍSICO.....	61

ÍNDICE TABELA

TABELA 2.1-VALORES TÍPICOS PARA RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO PARA LAMA.....	21
TABELA 4.1-PLANO EXPERIMENTAL	38
TABELA 4.2-CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM.....	39
TABELA 5.1-CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE ETAR.....	45
TABELA 5.2-DOSAGEM DE CONDICIONADOR FÍSICO NA LAMA MISTA DIGERIDA	46
TABELA 5.3- DOSAGEM DE CONDICIONADOR FÍSICO NA LAMA MISTA NÃO DIGERIDA.....	49
TABELA 5.4- DOSAGEM DE POLÍMERO AMBIFLOC® AP 1000 P NA LAMA MISTA DIGERIDA.....	52
TABELA 5.5- DOSAGEM DE POLÍMERO AMBIFLOC® AP300 EM NA LAMA MISTA.	56

Lista de abreviaturas

CAP- Carvão ativado em pó

CST- Capillary suction time (tempo de sucção capilar)

ETA- Estação de tratamento de água

ETAR- Estação de tratamento de água residual

LETA- Lama de ETA

LMD- Lama mista digerida

LMND- Lama mista não digerida

ODS- Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

SPE- Substâncias poliméricas extracelulares

SRF- Specific resistance to filtration (resistência específica à filtração)

ST- Sólidos totais

STV- Sólidos totais voláteis

1. Introdução

1.1 Enquadramento

O crescimento populacional, a nível mundial e a nível nacional, gera uma maior procura/pressão de recursos e de espaço. A água é um recurso limitado e essencial à vida, pelo que deve ser gerido de forma racional.

Nas últimas décadas, a temática da água tem ocupado as agendas políticas e mediáticas europeias e internacionais, assumindo-se como uma das principais preocupações ambientais dos cidadãos. Prova disso são os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), onde os 193 Estados membros da ONU, incluindo o Portugal, se comprometeram a adotar a chamada Agenda Pós-2015. Os ODS representam um plano de ação global para eliminar a pobreza extrema e a fome, oferecer educação de qualidade ao longo da vida para todos, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030. A “água potável e saneamento” é o sexto objetivo dos dezassete definidos. Este objetivo contempla três metas a alcançar até 2030:

1. Alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos.
2. Alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades da população mais vulnerável.
3. Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando o despejo e minimizando a libertação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo para metade a proporção de águas residuais não-tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização, a nível global.

A água é captada em albufeiras e/ou no subsolo. Posteriormente sofre um conjunto de processos de tratamentos químicos e físicos nas estações de tratamento de água (ETA), de forma a possibilitar o consumo humano. De seguida, esta é armazenada em reservatórios, de modo a garantir quantidade e pressão. Por último, é distribuída à população. Posteriormente à utilização da água, esta necessita de ser recolhida e encaminhada, através de uma rede de coletores, para uma estação de tratamento de água residual (ETAR), onde o objetivo é o de “devolver” qualidade à água, de forma a evitar problemas ambientais e de saúde pública.

As lamas de ETAR, matéria sólida resultante do processo de tratamento de água residual (um subproduto das ETAR), são classificadas, no Decreto-Lei nº 239/97, de 9 de setembro, como resíduo com o código LER 19 08 05 – *Lamas do tratamento de águas residuais urbanas*. As lamas resultantes dos processos de tratamento de efluentes urbanos nas ETAR são constituídas, fundamentalmente, por biomassa em excesso, que se forma durante o processo de remoção de matéria orgânica e outros nutrientes (lama secundária), podendo formar-se igualmente lama primária nas ETAR que possuam decantação primária. As lamas são espessadas, graviticamente ou mecanicamente, estabilizadas e desidratadas mecanicamente ou por métodos naturais. As lamas são depois armazenadas temporariamente em silos ou contentores até serem recolhidas por operadores licenciados. Em Portugal, no primeiro semestre de 2018, foi produzido um total de 261965ton/ano de lama de ETAR doméstica (ZERO, 2018).

As lamas de ETA são classificadas, de acordo com o Decreto-Lei nº 239/97, como resíduo com o código LER 19 09 02- *Lamas de clarificação da água*. As lamas de ETA são geralmente constituídas por matéria orgânica e inorgânica, na forma suspensa e dissolvida, hidróxidos metálicos precipitados, apresentando maior percentagem de argilas, siltes e areias. As lamas de

ETA são geralmente espessadas, graviticamente ou mecanicamente, e desidratadas mecanicamente. Em Portugal, segundo ADP (2020) é produzido um total de 15 mil ton/ano de Lama de ETA.

Atualmente, as lamas de ETA e de ETAR são geralmente encaminhadas para aterro ou para incineração, nomeadamente na indústria cimenteira.

1.2 Objetivo

A presente dissertação tem como objetivo estudar a influência do doseamento de lama micronizada de ETA (da Asseiceira e de Santa Águeda) nas lamas mistas e digeridas de ETAR (Castelo Branco), de forma a estudar a possível melhoria da eficiência do processo de desidratação.

Recorreu-se a ensaios de resistência específica à filtração para avaliar o desempenho das lamas de ETA no condicionamento das lamas de ETAR.

1.3 Organização da dissertação

Este documento está organizado em oito capítulos, integrando-se no **primeiro capítulo** o enquadramento geral da problemática do estudo realizado.

No **segundo capítulo**, é apresentada a revisão da literatura, que inclui cinco subcapítulos referentes à composição da lama de ETAR, aos diferentes tipos/modos de presença de água nas lamas, aos diferentes métodos de condicionamento de lama bem como aos fatores que afetam este processo e, por fim, à abordagem do tema da coagulação e floculação.

O **terceiro capítulo**, “Metodologia”, é composto por três subcapítulos que fazem uma descrição detalhada da ETAR de Castelo Branco e uma breve descrição das ETA de Asseiceira e Santa Águeda.

Os materiais e métodos utilizados são referidos no **capítulo quarto**, capítulo este que contempla cinco subcapítulos onde se descreve a metodologia utilizada na campanha de amostragem, a caracterização da lama de ETA, a caracterização da lama de ETAR, a avaliação da capacidade de desidratação através da LETA e a avaliação da capacidade de desidratação através do condicionamento químico.

A apresentação dos resultados obtidos na fase experimental, bem como a respetiva discussão, é apresentada no **capítulo quinto**, seguindo-se o **capítulo sexto** com as conclusões e o **sétimo** com algumas considerações finais do estudo e perspectivas para futuros trabalhos.

2. Revisão da literatura

2.1 Composição das lamas

A composição da lama ativada é essencialmente constituída por bioflocos (flocos biológicos) formados nos processos de tratamento de biomassa fixa e suspensa. Os bioflocos são formados por microrganismos e por partículas adsorvidas do meio efluente (Christensen *et al.*, 2015). Os flocos de lama são constituídos por microrganismos, fibras orgânicas, partículas inorgânicas (sal e areia) e substâncias poliméricas extracelulares (SPE). Os flocos de lama são mantidos juntos por forças de Van der Waals, electrostáticas e hidrofóbicas. As componentes SPE são particularmente importantes nas propriedades do floco. As componentes SPE são uma mistura de diferentes macromoléculas, por exemplo, proteínas, substâncias húmicas, polissacáridos, ácidos nucleicos e lípidos, que podem contribuir com 40% a 60% do total do peso seco dos flocos (Christensen *et al.*, 2015). As SPE são negativamente carregadas (Christensen *et al.*, 2015).

A composição microbiológica determina, em grande parte, as propriedades do floco que, subsequentemente, determinam as propriedades das lamas. Na Figura 2.1 ilustram-se as componentes mais importantes/abundantes do floco. As bactérias filamentosas formam frequentemente uma espinha dorsal que liga estas microestruturas, encontrando-se todas coladas por SPE específicas da espécie e outras macromoléculas mal definidas, por exemplo, substâncias húmicas. A dimensão típica do floco varia entre 50–100 μm (Nielsen *et al.*, 2012).

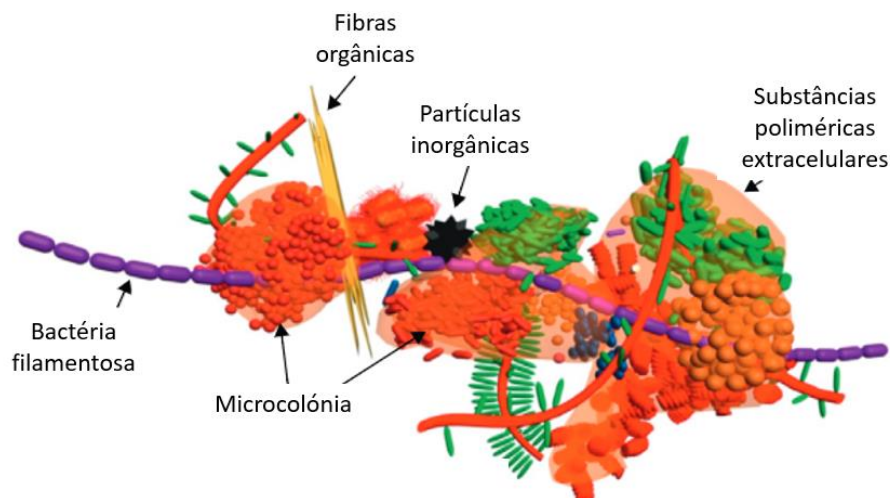


Figura 2.1-Representação esquemática de um biofloco. [Adaptado de Nielsen *et al.*, 2012]

É geralmente aceite que as SPE podem ser classificadas como SPE de ligação solta, fortemente ligadas e suspensas. É frequentemente encontrado um equilíbrio dinâmico entre componentes de SPE de ligação solta e suspensa (Christensen *et al.*, 2015).

As forças eletrostáticas desempenham um papel importante para o equilíbrio (Christensen *et al.*, 2015), pelo que tendo em conta este facto, a concentração e a valência dos iões desempenham um papel importante na estrutura dos bioflocos (Christensen *et al.*, 2015).

As lamas, genericamente, contêm grandes quantidades de água cujo teor varia de 63% a 99% (Christensen *et al.*, 2015). A água nos flocos e na superfície dos mesmos é frequentemente denominada como água ligada, em oposição à água livre, que não é afetada pelas partículas sólidas. Para efeitos de sistematização, a água ligada foi dividida em três tipos (Christensen *et al.*, 2015):

- I) água encurralada dentro das fendas e do espaço intersticial dos flocos (água intersticial),
- II) água fisicamente ligada às superfícies dos flocos (água vicinal),
- III) água quimicamente ligada à matéria sólida (água de hidratação ou água ligada).

Esta componente da composição do floco de lama será abordada, mais detalhadamente, no próximo capítulo.

Segundo Christensen *et al.*, (2015), a estrutura de flocos pode variar entre grandes flocos compactos (flocos ideais), flocos com grande abundância de bactérias filamentosas (volume filamentoso) ou flocos pequenos e leves, sem bactérias filamentosas. Geralmente, as melhores propriedades de separação são obtidas se a lama apresentar uma estrutura com grandes flocos compactos, poucas bactérias filamentosas e poucos microrganismos unicelulares (Christensen *et al.*, 2015). A composição das espécies presentes nas lamas influencia as propriedades dos flocos e, por sua vez, a separação sólido-líquido. As lamas podem conter diferentes quantidades e tipos de SPE com propriedades distintas de ligação à água, apresentando, desta forma, diversas capacidades de desidratação (Christensen *et al.*, 2015).

2.2 Presença de água nas lamas

A presença de matéria orgânica nas lamas pode dificultar o processo de desidratação, uma vez que a água pode ligar-se a uma rede biopolimérica, apresentando um comportamento muito diferente da água livre (Heukelekian *et al.*, 1956).

Por conseguinte, é necessário compreender os principais tipos de ligação da água aos bioflocos, de modo a otimizar a eficiência da remoção de água, bem como minimizar o consumo de energia na desidratação das lamas.

Diferença entre água livre e água “ligada”

A água livre é definida por Wu *et al.*, (2019) como o estado da água não afetado pela fase sólida e por Eddy *et al.*, (2013) como a água envolvente ao floco de lama que não se move com a fase sólida.

Em termos práticos, a “água livre” pode ser separada da fase sólida da lama por processos de espessamento ou por tensões mecânicas fracas (Wu *et al.*, 2020). De acordo com Vaxelaire & Cézac, (2004), a água livre é teoricamente definida como a água que não é afetada pela fase sólida.

A água “ligada” é a água fixada à fase sólida por ligações químicas (ligação de hidrogénio), adsorção física, captura mecânica em micro e macrocapilares nos poros da lama. A separação da água “ligada” da fase sólida por processos mecânicos é mais difícil (Wu *et al.*, 2020).

A água “ligada” pode ser subdividida em: água vicinal, fixada a uma superfície/camada de composição orgânica, e água intersticial, mecanicamente presa na rede de bioflocos (Wu *et*

al., 2019), podendo ser definida como água presa nas estruturas dos flocos da lama e que se move com o floco da lama ou como a parte da água que é aprisionada por forças capilares entre as partículas (Eddy *et al.*, 2013). A Figura 2.2 mostra esquematicamente a distribuição de água no floco de lama.

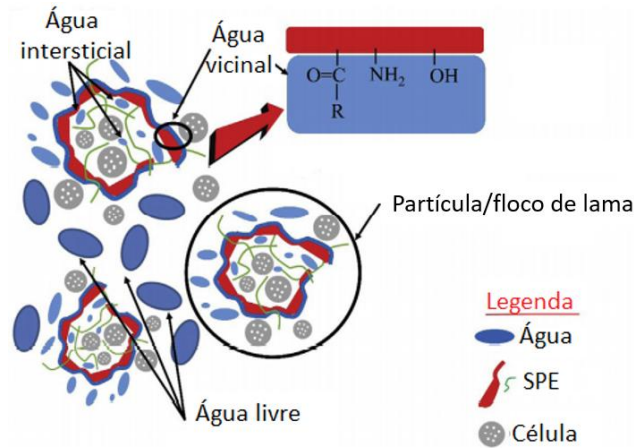


Figura 2.2-Distribuição esquemática dos diferentes tipos de ligação água-lama. [Adaptado de Wu et al., 2019].

2.3 Processo de desidratação

Os processos de tratamento de águas residuais produzem grandes quantidades de lamas que normalmente contêm mais de 90% de água (Qi *et al.*, 2011b). A desidratação da lama é realizada através de processos físicos, de modo a reduzir o volume de água na lama, aumentando, desta forma, a concentração da lama e reduzindo o seu volume. As principais razões que justificam o processo de desidratação são:

- Através da desidratação, o volume de lama é reduzido, diminuindo os custos associados ao encaminhamento da lama para o destino final.
- A desidratação da lama aumenta o poder calorífico desta. O processo de desidratação é normalmente utilizado quando se pretende que lama seja incinerada.
- A lama desidratada é, geralmente, mais facilmente manuseada, transportada e armazenada.
- A desidratação viabiliza o processo de compostagem de lamas.

As lamas são um sistema coloidal no qual pequenas partículas da lama geram uma suspensão estável em água, sendo relativamente difícil separar a fase líquida da matéria particulada. A adição de condicionadores químicos, tais como floculantes e coagulantes, é relevante para auxiliar a aglomeração de pequenas partículas em flocos.

Existem dois tipos de processos de desidratação: os naturais, através da evaporação e/ou da percolação, e os mecânicos, os quais têm a capacidade de desidratar a lama mais rapidamente face aos processos naturais de desidratação.

Os métodos naturais não requerem qualquer pré-tratamento, enquanto os métodos artificiais só podem ser, geralmente, aplicados após um condicionamento das lamas. A desidratação por via natural (leitões de secagem, lagoa de macrófitas) é utilizada, normalmente, em ETAR de pequenas dimensões, tem como principais desvantagens a necessidade de um espaço significativo (grandes áreas), a sua eficácia depende das condições atmosféricas, necessitando de mão de obra para se proceder à remoção da lama desidratada e podendo gerar

maus odores. Em contrapartida, não requer consumo energético, sendo a sua operação/exploração simples (Negulescu, 1985).

A desidratação por via mecânica pode apresentar um funcionamento contínuo ou descontínuo. As suas principais vantagens são o facto de não depender das condições meteorológicas, constituir um processo mais célere e requerer menores áreas (mais compacto). Apresenta como principais desvantagens o consumo de energia, de água de lavagem, de lubrificantes e de reagentes.

2.4 Condicionamento da Lama

O condicionamento de lamas tem como objetivo alterar a sua estrutura (promovendo uma agregação de partículas em flocos e a criação de poros, de forma a gerar espaços livres onde a água possa sair com uma maior facilidade) e propriedades (aumento da suscetibilidade de desidratação) (Kowalczyk *et al.*, 2018). Através destes processos, é possível libertar a água intersticial, facilitando o processo a jusante (desidratação) e possibilitando a redução do consumo de energia no processo de desidratação. São usados vários métodos de condicionamento de lama, entre eles destacam-se:

- Métodos químicos,
- Métodos térmicos,
- Métodos mecânicos,
- Métodos não convencionais (ultrassom e eletromagnéticos)

Um dos objetivos do condicionamento é aumentar a suscetibilidade da lama a espessamento e desidratação. No entanto, o processo de condicionamento é habitualmente utilizado a montante da desidratação mecânica e, menos frequentemente, antes dos processos de espessamento por gravidade (Kowalczyk *et al.*, 2018).

Diferentes efeitos finais são obtidos utilizando o mesmo equipamento de desidratação, dependendo do método de condicionamento (Kowalczyk *et al.*, 2018). Encontra-se apresentada, no Anexo I, uma tabela síntese dos condicionamentos. Esta indica o método, a tecnologia, a dosagem e o consumo energético associados a cada modo de condicionamento de lama.

O condicionamento da lama é frequentemente utilizado na desidratação mecânica, de forma a aglomerar as partículas de pequenas dimensões em flocos e a facilitar o processo de desidratação. A desidratação natural não requer o condicionamento da lama (Negulescu, 1985).

O acondicionamento pode ser realizado por métodos químicos, quando são utilizados produtos químicos flocculantes orgânicos ou inorgânicos, podendo também ser realizado por métodos físicos, utilizando calor e congelação para alterar as características da lama (Negulescu, 1985). A elutriação é um método físico para condicionar as lamas digeridas, tendo sido largamente utilizada no passado, encontrando-se, no entanto, hoje em dia quase totalmente abandonada (Negulescu, 1985).

Devido à elevada compressibilidade da lama, o processo de desidratação mecânico necessita de um elevado tempo de compressão sobre a lama bem como uma grande força de compressão para alcançar uma elevada concentração de lama desidratada (Qi *et al.*, 2011b).

Condicionadores físicos, na gíria designados por *skeleton builders* (“construtores de esqueleto”), são normalmente utilizados para reduzir a compressibilidade da lama e melhorar a resistência mecânica e a permeabilidade dos sólidos da lama durante a compressão. Estes condicionadores físicos podem formar uma estrutura em forma de malha, a qual pode permanecer porosa sob elevada pressão durante a desidratação mecânica (Zall *et al.*, 1987).

Têm sido realizados diversos estudos com diferentes tipos de condicionadores físicos ou “construtores de esqueleto”. Estes, na sua grande maioria, apresentam uma estrutura à base de carbono. Os materiais que têm sido utilizados como condicionadores físicos são partículas de carvão, aparas de madeira, cimento e cinzas (Qi *et al.*, 2011b).

Jing *et al.*, (1999) tem desenvolvido estudos que demonstram que, através do condicionamento físico da lama (sem necessidade de recorrer ao condicionamento químico), é possível melhorar o processo de desidratação. Contudo, tem sido mais frequentemente estudado o efeito conjunto dos dois condicionadores sob a lama a desidratar. Os benefícios da utilização de condicionadores físicos são frequentemente estudados através de processos de filtração (Qi *et al.*, 2011b).

2.4.1. Fatores que afetam o condicionamento

Propriedades reológicas

A viscosidade é um índice que reflete as interações entre as partículas de lama, a estabilidade coloidal dos agregados microbianos e a capacidade de retenção de água dos flocos de lama. Já existem alguns estudos que analisam a relação entre a viscosidade e o potencial de desidratação (Wu *et al.*, 2020).

Geralmente, a viscosidade da lama apresenta uma correlação positiva com a sucção capilar à filtração- CST (capillary suction to filtration) e a resistência específica à filtração (SRF- specific resistance to filtration) (Niu *et al.*, 2013). Wu *et al.*, (2020) entre outros estudos demonstraram que uma lama que apresente uma maior afinidade entre a água e a matéria orgânica resulta numa maior viscosidade e em água mais “ligada”.

É importante salientar que a maioria dos estudos acima mencionados ainda se baseia em experiências laboratoriais de medição da desidratação. A viscosidade da lama deve afetar significativamente o movimento das partículas na separação de sólido líquido à escala industrial. Não obstante, os estudos salientam que esta condição pode não ser capaz de ser totalmente simulada por testes CST ou SRF à escala laboratorial (Wu *et al.*, 2020).

Mais recentemente, têm sido, estudadas as relações entre viscosidade, resistência ao cisalhamento (deformação de um corpo com deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante) e estabilidade de flocos na lama (Wu *et al.*, 2020).

Sheng, (2006) demonstrou que a diminuição da viscosidade da lama é sempre acompanhada com o módulo elastoplástico em declínio, refletindo o enfraquecimento das interações entre as partículas de lama. O módulo elastoplástico também se correlacionou positivamente com as dimensões fractais, tendo as duas propriedades em conjunto afetado a desidratação da lama.

As propriedades reológicas da lama, como a compressibilidade e a porosidade, são também importantes variáveis na extração da fase líquida da fase sólida no processo de desidratação. É reconhecido que a baixa compressibilidade de uma lama mantém a estrutura porosa no processo de desidratação, inibindo deformações e promovendo, desta forma, uma maior remoção de água. Ou seja, a menor compressibilidade de uma lama gera, normalmente, uma maior permeabilidade. No entanto, é difícil quantificar com precisão, à escala industrial, a capacidade de desidratação em função da sua compressibilidade (Wu *et al.*, 2020).

Dimensão das partículas

A distribuição granulométrica é geralmente considerada um dos fatores que influenciam a capacidade de desidratação de lamas. A regulação da distribuição granulométrica pode melhorar ou deteriorar a capacidade de desidratação da lama uma vez que esta influencia a carga superficial das partículas de lama e a micromorfologia dos flocos de lama.

Segundo Karr & Keinath, (1978), é considerando as dimensões das partículas sólidas da lama podem ser classificadas da seguinte forma:

- Suspensão (partícula $\geq 100 \mu\text{m}$)
- Supracoloidal (partícula 100μ a $1 \mu\text{m}$)
- Coloidal (partícula $0,001 \mu\text{m}$ a $1 \mu\text{m}$)
- Dissolvido (partícula $\leq 0,001 \mu\text{m}$)

É geralmente reconhecido que a presença de fibras de elevada dimensão nas lamas causa a floculação das partículas e o aumento do tamanho das mesmas, resultando em flocos com uma maior densidade. Desta forma, aumenta a variação da densidade entre as fases sólida e líquida, o que favorece a separação sólido-líquido (Wu *et al.*, 2020).

A presença de partículas de pequenas dimensões favorece o aparecimento de capilares, devido à elevada dispersão entre as partículas, contribuindo igualmente para a presença de um maior volume de água “ligada” na lama, retida nos poros de pequenas dimensões (Karr & Keinath, 1978).

Segundo (Olböter & Vogelpohl, 1993), as partículas de reduzidas dimensões apresentam uma maior superfície específica e, dependendo da sua hidrofobicidade, maior quantidade de água é “enclausurada”/presa por unidade de volume. *Olböter & Vogelpohl*, (1993) refere ainda que, nas lamas que necessitam de condicionamento químico, a quantidade necessária de polímero aumenta com o aumento da superfície específica. Como tal, lamas que apresentem partículas de menores dimensões, necessitam de uma maior dosagem de condicionador químico.

Uma lama que apresente uma maior fração de partículas de pequenas dimensões apresenta uma grande superfície específica. Quando as partículas floculam devido à adição de polímero, a quantidade de partículas de elevadas dimensões aumenta e a superfície específica diminui. Desta forma, a eficiência da desidratação é melhorada com o aumento do tamanho das partículas (Olböter & Vogelpohl, 1993).

Porosidade e micromorfologia

As lamas de ETAR urbanas, em comparação com as lamas de alguns processos industriais, são muito difíceis de desidratar, devido ao elevado teor de matéria orgânica nos sólidos da lama (Qi *et al.*, 2011). Durante a desidratação mecânica por filtração, por pressão ou por vácuo, ocorre frequentemente a compressão, o que diminui a porosidade do bolo e aumenta a resistência específica do mesmo (Qi *et al.*, 2011).

É geralmente aceite que lamas com uma elevada porosidade levam a uma maior remoção de água bem como aceleram o processo de desidratação (Wu *et al.*, 2020; Qi *et al.*, 2011), reduzindo, desta forma, o consumo de energia no processo de desidratação, uma vez que os poros meso e macro existentes mantêm a permeabilidade das lamas durante a desidratação por pressão (Wu *et al.*, 2020).

O elevado teor de matéria orgânica nos flocos de lama conduz a uma elevada compressibilidade. No processo de desidratação mecânica, devido às elevadas pressões

aplicadas, os canais de drenagem do corpo da lama reduzem-se significativamente e/ou fecham-se. Assim, uma camada densa irá formar-se na superfície do corpo da lama, dificultando desta forma a separação da fase sólida da fase líquida. Devido ao efeito dos condicionadores físicos, os quais apresentam uma baixa compressibilidade, a estrutura porosa mantém-se no corpo da lama sob a grande pressão mecânica, para que a água possa fluir, mais facilmente, para fora do corpo da lama (Zhang *et al.*, 2019).

Carga superficial

A carga superficial desempenha um papel determinante nas interações entre as partículas de lama, o que influencia, ainda mais, o estado de agregação, a distribuição do tamanho das partículas e o desempenho da separação sólido-líquido (Christensen *et al.*, 2015).

A elevada condutividade é normalmente acompanhada pela elevada concentração de íões em fase aquosa e a complexação é um equilíbrio dinâmico que depende da proporção de íões aquosos e dos locais de complexação. Portanto, a elevada concentração de íões aquosos deve corresponder ao elevado conteúdo de íões complexantes com composições sólidas, o que permite a neutralização da carga superficial e facilita, ainda mais, a melhoria da capacidade de desidratação das lamas (Wu *et al.*, 2020).

Substâncias poliméricas extracelulares (SPE)

As SPE são alguns compostos de alto peso molecular que se distribuem tanto no exterior das células como no interior dos agregados microbianos e representam 50% a 80 % do total das frações orgânicas nas lamas (Wu *et al.*, 2020). A presença de SPE constitui uma barreira de defesa dos microrganismos ao ambiente externo severo, incluindo mudanças de pH, presença de metais pesados e outras substâncias tóxicas, e também atua nas camadas exteriores dos agregados microbianos que interagem com as moléculas de água (Wu *et al.*, 2020). Por conseguinte, as propriedades físico-químicas das SPE afetam significativamente a hidrofobicidade/hidrofobicidade dos bioflocos. Desta forma, as propriedades físico-químicas das SPE são determinantes na desidratação de lama (Wu *et al.*, 2020).

As SPE são formadas por diferentes agentes bioquímicos segregados por: microrganismos; libertação de produtos celulares; lise celular (processo de destruição ou dissolução da célula causada pela rotura da membrana plasmática) ou por matéria orgânica presente no meio (Wu *et al.*, 2020). Os hidratos de carbono e as proteínas são os principais componentes das SPE (Sheng, 2006). São também constituídas, em pequena quantidade, por substâncias húmicas, lípidos, ácidos nucleicos, ácidos urónicos e alguns componentes inorgânicos (Sheng, 2006). É amplamente aceite que as proteínas extracelulares são constituídas pelas principais substâncias hidrofílicas nas lamas, desempenhando, desta forma, um papel mais relevante na determinação da capacidade de desidratação do que polissacáridos e substâncias húmicas (Wu *et al.*, 2020).

O aumento de SPE nos flocos da lama conduz a uma menor sensibilidade ao cisalhamento e a um menor grau de dispersão de lamas, resultando numa melhor floculação das lamas através do aumento da agregação intercelular. Contudo, à medida que o conteúdo das SPE aumenta e ultrapassa um certo limiar, a água, que é retida pelas SPE, aumenta significativamente, o que dificulta o processo de desidratação das lamas. O aumento de SPE na lama causa ainda uma camada de “sujidade” no meio filtrante e atua como barreira para a remoção de água por meios mecânicos (Wu *et al.*, 2020).

2.4.2. Condicionamento por via química

O condicionamento químico pode reduzir de 90% a 99% a humidade inicial da lama para 65% a 85%, dependendo da natureza dos sólidos (Eddy *et al.*, 2013). O condicionamento químico pode ser efetuado através dos seguintes processos: reações ácido/base, reações de oxidação e tratamento enzimático. Contudo, a técnica mais recorrente no processo de condicionamento é o processo de coagulação/floculação. Este tipo de condicionamento é muito usado em desidratação mecânica (filtros prensa, filtros banda, centrifugas). O processo de coagulação e floculação encontra-se descrito no Capítulo 2.5.

1. Os reagentes utilizados no condicionamento químico podem ser divididos em condicionadores minerais e orgânicos. Os condicionadores minerais, como sais férricos e cal, são os mais frequentemente utilizados na desidratação por filtro prensa (Eddy *et al.*, 2013).

Coagulantes e floculantes

Os reagentes de coagulação mais comuns são os sais férricos e alumínicos (Wu *et al.*, 2020). Turchiuli & Fargues, (2004) investigaram o desempenho do condicionamento de dois coagulantes inorgânicos de pequenas moléculas, $Al_2(SO_4)_3$ e $FeCl_3$. Salientaram que os flocos formados através dos sais alumínicos eram de maiores dimensões e mais compactos, comparativamente com aos sais férricos, o que resultava num melhor desempenho da desidratação. A presença de substâncias solúveis de elevado peso molecular (como as SPE) pode elevar o consumo de Al^{3+} . Alguns estudos têm vindo a analisar o efeito do condicionamento através de iões de alumínio com diferentes formas químicas. Cao *et al.*, (2016) analisou os efeitos de diferentes fórmulas químicas de alumínio no condicionamento de lama, concluindo que a aplicação de fórmulas monómeras de alumínio, de fórmulas de polimerização média de alumínio e, principalmente, de fórmulas constituídas por polimerização de alumínio na lama, resultava numa lama mais densa e com flocos mais estáveis. Verificou que as fórmulas de polimerização média de alumínio e principalmente constituídas por polimerização de alumínio apresentavam resultados melhores de coagulação em proteínas do tipo SPE comparativamente com as fórmulas monómeras de alumínio.

Os sais férricos podem ter vantagens em relação aos sais de alumínio no condicionamento da lama, devido, à rapidez de sedimentação dos flocos férricos, à menor toxicidade, à maior gama de aplicações de pH e ao melhor efeito mesmo a baixas temperaturas (Wu *et al.*, 2020).

Os sais férricos são os coagulantes mais comuns utilizados no condicionamento de lama. Estes sais são frequentemente utilizados em conjunto com a cal, de forma a obter melhores resultados. A adição de condicionadores químicos na lama pode resultar no aumento da concentração de sólidos secos na lama (Zall *et al.*, 1987). Os polímeros não aumentam os sólidos secos, em contrapartida os sais metálicos podem elevar os sólidos secos até 30% (Zall *et al.*, 1987).

Os floculantes são geralmente reconhecidos como polímeros macromoleculares que produzem efeitos através de reações de adsorção nas partículas da lama, o que aumenta o tamanho do floco e melhora a separação sólido-líquido ao aumentar a diferença de densidade (Wu *et al.*, 2020). A poliacrilamida catiónica e derivados são os floculantes mais amplamente utilizados para desidratação de lamas (Wu *et al.*, 2020). A poliacrilamida catiónica é eficiente na desestabilização das partículas coloidais da lama através da neutralização de carga. Para além

da poliacrilamida catiónica, vários floculantes catiónicos têm sido estudados. Chen *et al.*, (2016) analisou o efeito da utilização de um polímero de acrilamida com uma unidade estrutural em forma de anel de cinco átomos de carbono, como floculante no condicionamento de lama. Têm sido, também, desenvolvidos floculantes com regiões hidrofóbicas catiónicas fortes.

Condicionamento por reação ácido base

O tratamento da lama por adição de compostos alcalinos pode perturbar os flocos e as células dos microrganismos presentes na lama, libertando matérias orgânicas internas, e acelerar a hidrólise das lamas, conseqüentemente pode melhorar o desempenho da digestão anaeróbia subsquente (Li *et al.*, 2008). Além disso, o tratamento alcalino da lama pode libertar a água contida no interior da estrutura do floco e da célula, que não pode ser removida por processos de desidratação convencionais. Por este facto, o tratamento alcalino pode melhorar a capacidade de desidratação de lamas. As SPE fixam-se nas partículas de lama para formar flocos. Como já mencionado no Capítulo 2.4., as SPE incluem proteínas, substâncias húmicas, polissacáridos, lípidos e ácido nucleico. Um pH elevado provoca a perda da estrutura das proteínas. Assim, o tratamento alcalino pode solubilizar a lama e libertar a água interior (Li *et al.*, 2008).

O condicionamento alcalino é, normalmente, realizado pelos seguintes reagentes: NaOH, CaO, e Ca(OH)₂. O tratamento alcalino é capaz de perturbar os flocos de lama e as células dos microrganismos presentes na lama, promovendo a capacidade de separação da água "ligada". Contudo, pode verificar-se uma deterioração da capacidade de desidratação provocada pela acumulação excessiva de matéria orgânica, podendo aumentar a resistência à filtração (SRF) (Wu *et al.*, 2020). Li *et al.*, (2009) verificou que o tratamento com NaOH em doses baixas (<10% da matéria seca de lama) deteriorou a capacidade de desidratação de lamas, contudo, a dosagem elevada (10% a 30% de matéria seca de lama) beneficiou o processo de desidratação. Ca(OH)₂ é mais apropriado para melhorar a capacidade de desidratação de lamas do que NaOH, porque o Ca²⁺ pode facilitar a refloculação de compostos orgânicos solúveis (Wu *et al.*, 2020). CaO pode reduzir o teor de água das lamas por reação exotérmica, contudo é necessário ter em conta que a adição deste reagente pode aumentar o volume de lama a montante da desidratação (caso o doseamento seja realizado antes do processo de desidratação) (Wu *et al.*, 2020).

O pH ácido pode alterar a carga superficial das partículas de lama, desintegrar os bioflocos e reduzir a água ligada, à semelhança do tratamento alcalino. A acidificação excessiva pode deteriorar a filtrabilidade por lise dos flocos de lama, o que resulta na libertação de finas partículas na fase líquida, correndo o risco de colmatar os meios de filtração (Wu *et al.*, 2020). É necessário ter em conta que os materiais e equipamentos onde são doseados os reagentes para promover as reações ácido base da lama, bem como todos os equipamentos a jusante desta etapa, devem apresentar características anticorrosão (Wu *et al.*, 2020).

Tratamento avançado de oxidação

A presença de SPE conduz, predominantemente, à existência de água "ligada". O tratamento avançado de oxidação provoca a destruição da parede celular e a libertação de SPE nas partículas da lama, o que contribui para a libertação de água intracelular e água intersticial dos flocos de lama. A reação Fenton foi a primeira em que se verificou a eficácia da eliminação da capacidade de retenção de água das SPE (Wu *et al.*, 2020).

O reagente Fenton é uma solução de peróxido de hidrogénio e um catalisador de ferro que é utilizado para oxidar contaminantes ou águas residuais. O reagente foi descoberto por H.J.H. Fenton, na década de 1890, sendo hoje em dia utilizado para tratar uma variedade de resíduos industriais tóxicos contendo fenóis, tais como: formaldeído, resíduos complexos derivados de corantes, pesticidas, conservantes de madeira, aditivos plásticos, produtos químicos de borracha, entre outros compostos tóxicos (Buyukkamaci, 2004).

O efeito do reagente de Fenton na capacidade de desidratação das lamas biológicas foi avaliado por Buyukkamaci, (2004) através do estudo de várias dosagens de Fe^{2+} e H_2O_2 . As propriedades de desidratação foram monitorizadas utilizando os parâmetros SRF e CST. Os valores de SRF e CST da lama condicionada baixaram com concentrações crescentes de H_2O_2 e Fe^{2+} em quase todos os casos. Quando os resultados foram avaliados em termos do ensaio SRF, as concentrações ótimas de H_2O_2 e Fe^{2+} foram de 6000 mg/l e 5000 mg/l, respetivamente, para lamas biológicas provenientes de uma estação de tratamento de águas residuais municipais.

Tratamento enzimático

Tal como no tratamento avançado de oxidação, as enzimas de hidrólise podem promover a degradação das SPE, resultando na destruição de bioflocos, e reduzir a capacidade de retenção de água das lamas. No entanto, a dosagem de enzimas de hidrólise é, geralmente, muito mais reduzida do que a dosagem dos oxidantes, que, conseqüentemente, apresenta menos riscos ambientais (Wu *et al.*, 2020).

Podem ser utilizadas diferentes enzimas, tais como amilase, celulase, proteinase, DNase, e poligalacturonase. Lü *et al.*, (2016) verificou que a maioria das enzimas hidrolíticas funciona apenas devido a um efeito de temperatura ou pH. A libertação de matéria orgânica da fração interior de SPE para a fração exterior foi provocada sob pH e temperatura elevados, mesmo sem adição de enzimas, pelo que Lü *et al.*, (2016) considerou que este tipo de enzimas não apresentava uma influência significativa na degradação de SPE. A eficácia da adição de enzimas só foi significativa para tratamentos de celulase e poligalacturonase.

Fatores que afetam o condicionamento químico

Os fatores que influenciam a escolha do tipo e a dosagem do condicionamento são as propriedades dos sólidos da lama e dos processos de mistura bem como dos processos de desidratação (SNF, 2003). Nas propriedades dos sólidos, destacam-se as seguintes características:

Tipo/Natureza da lama

A natureza da lama é relevante na escolha e na dose do condicionador.

As lamas primárias provêm de processo de sedimentação com cargas hidráulicas relativamente elevadas e baixos tempos de retenção. Por conseguinte, o tipo de partículas que está associado a este tipo de lamas apresenta dimensões elevadas e/ou de elevada densidade. Apresentam, geralmente, um baixo nível de sólidos voláteis (cerca de 55% a 60%) (SNF, 2003). Este tipo de características facilita o processo de desidratação. O maior inconveniente prende-se com o facto de este tipo de lama iniciar, facilmente, processos de fermentação (SNF, 2003).

A lama proveniente do tratamento biológico apresenta, geralmente, uma elevada percentagem de microrganismos. As características deste tipo de lama variam bastante com o tipo de tratamento biológico. As lamas provenientes do tratamento biológico, de forma geral, apresentam uma elevada concentração de sólidos voláteis (70% a 80%) e baixa concentração de matéria seca (4g/l a 10g/l) (SNF, 2003). Na Figura 2.3, podemos verificar a natureza coloidal, consoante o tipo de lama. As lamas que apresentam uma elevada natureza coloidal são, geralmente, mais difíceis de desidratar.



Figura 2.3- Variação das dimensões das partículas em função do tipo de lama.

Lama mista

A lama mista (LMND) é composta por lama primária e lama proveniente do tratamento biológico. Geralmente, a LMND é composta por 35% a 45% de lama primária e 55% a 65% de lama secundária. A propriedades da LMND são bastante variáveis e, frequentemente, situam-se entre as propriedades da lama primária e da lama secundária (SNF, 2003).

Lama digerida

A lama mista digerida (LMD) provém de uma etapa de estabilização biológica no processo designado por digestão. Pode ser feita a diferentes temperaturas (mesófilas ou termófilas) e com ou sem a presença de oxigénio (via aeróbia ou anaeróbia). Após esta etapa de estabilização, as propriedades da lama são as seguintes:

- Um teor reduzido de sólidos voláteis, geralmente 50% (SNF, 2003). Na digestão, ocorrem processos de mineralização na lama, reduzindo o teor de sólidos voláteis.
- Elevada capacidade de desidratação.
- Um teor de sólidos fixos de cerca de 20 g/l a 40 g/l (SNF, 2003).

Concentração de sólidos da lama

De um modo geral, em lamas que apresentam uma maior concentração, o processo de mistura do floculante na lama é mais difícil face a uma lama menos concentrada.

Habitualmente, nas lamas que apresentam teores baixos de sólidos e baixas concentrações, é necessário um maior consumo de floculante (Eddy *et al.*, 2013).

pH e Alcalinidade

O pH e alcalinidade podem afetar a eficiência do condicionador utilizado, em particular os condicionadores químicos inorgânicos. Quando a cal é utilizada para elevar o pH para a

desidratação, pode resultar num forte odor a amoníaco e em precipitados de cal que afetam o bom funcionamento da desidratação (Eddy *et al.*, 2013).

2.4.3. Condicionamento físico

Condicionamento por calor

O tratamento por calor é um processo que foi usado para condicionamento e estabilização da lama, mas, atualmente, é raramente utilizado em novas ETAR (Eddy *et al.*, 2013). O tratamento por calor é feito através do aquecimento da lama por intervalos de tempo reduzidos e a sob pressão. Através deste processo, é possível coagular os sólidos, partir a estrutura gelatinosa da lama e reduzir a afinidade entre a água e os sólidos da lama (Eddy *et al.*, 2013). Este processo permite a estabilização da lama e facilita o processo de desidratação. É importante salientar que os sobrenadantes das unidades de tratamento por calor apresentam, geralmente, uma CBO elevada, pelo que pode haver necessidade de um tratamento especializado antes de retornar à ETAR (Eddy *et al.*, 2013).

As vantagens do tratamento por calor são (Eddy *et al.*, 2013):

- A percentagem de matéria seca na lama pode alcançar os 30 a 50%, dependendo do grau de oxidação alcançado;
- Normalmente, o processo de tratamento por calor não necessita de condicionadores químicos;
- O processo destrói a maioria dos microrganismos patogénicos;
- O processo é pouco sensível à variação do tipo/fonte de lama.

As desvantagens prendem-se com o facto de (Eddy *et al.*, 2013):

- Custo relativamente elevado do equipamento, devido à elevada tecnologia, bem como aos materiais anticorrosão;
- Necessidade de operadores a supervisionarem o processo;
- Libertação significativa de odores;
- Possibilidade de formação de incrustações/precipitados nas tubagens e nas bombas a jusante do aquecimento da lama;
- Processo que requer um consumo significativo de energia (cerca de 28 a 30 KJ/g de sólidos voláteis).

O tratamento por calor é, habitualmente, realizado a uma temperatura entre 180°C a 250°C, a uma pressão de 1MPa a 4MPa. Através deste processo, é possível remover os grupos funcionais hidrofílicos das frações orgânicas. A carbonização das lamas diminui significativamente as capacidades de retenção de água (Wu *et al.*, 2020).

Existe ainda, apesar de menos frequente, o pré-tratamento térmico, processo que tem por base o aquecimento da lama até aos 60°C a 180°C. Desta forma, é possível acelerar a dissolução de lípidos e hidratos de carbono e a libertação de proteínas intracelulares ligadas dentro da parede celular, promovendo assim a libertação de água "ligada". A eficiência deste processo depende da temperatura aplicada e do tempo de aquecimento da lama (Wu *et al.*, 2020).

Têm ainda sido desenvolvidos estudos que pretendem analisar a utilização de ondas eletromagnéticas para realizar o pré-tratamento. A radiação eletromagnética de alta frequência

interage com as moléculas dipolares (tais como água, proteínas e alguns líquidos), que, conseqüentemente, iniciam um aquecimento rápido a partir da rotação molecular (Yu *et al.*, 2009).

O tratamento de micro-ondas é um processo que utiliza ondas eletromagnéticas com comprimento de onda de 0,1 mm a 1 m e frequência de 300 MHz-3 THz para o aquecimento/degradação das lamas (Yu *et al.*, 2009). Wojciechowska, (2005) e Yu *et al.*, (2009) verificaram os efeitos positivos do tratamento por micro-ondas em condições alcalinas sobre a capacidade de desidratação das lamas.

Condicionamento por congelamento

A congelamento/descongelamento é uma forma física eficaz de reduzir o teor de água ligada, alterando a estrutura do floco de lama. Desta forma, o equipamento opera em modo *batch*, apresentando um ciclo de congelamento e outro de descongelamento. Durante o primeiro ciclo (congelamento), as temperaturas baixam abaixo do ponto de congelamento da água, cerca dos -20°C a -15°C e mantendo-se neste estado durante algum tempo. O processo de descongelamento dá-se à temperatura ambiente (segundo ciclo).

É conhecido o facto de que nas ETAR localizadas em climas frios, onde a água residual pode congelar, o processo de desidratação é melhorado pelo facto de a lama apresentar temperaturas negativas. A congelamento da lama transforma a consistência gelatinosa da lama em material granulométrico, o que melhora a drenagem do bolo de lama, melhorando, assim, o processo de desidratação (Eddy *et al.*, 2013).

Quando a lama congela, a água livre é a primeira a congelar, formando cristais. Quando a água livre congela, a água intersticial é removida para fora do floco por difusão e junta-se aos cristais formados pela água livre (Eddy *et al.*, 2013). Devido à formação de cristais de gelo homogêneos, as moléculas de água são fixadas nos cristais de gelo e as partículas de lama são excluídas para fora da estrutura cristalina, realizando, desta forma, a separação sólido-líquido. Com a descongelamento do gelo, a água é descarregada e a fase sólida concentrada pode ser recolhida separadamente (Wu *et al.*, 2020).

A concentração inicial da lama, a fração da lama congelada e o tempo de congelamento são variáveis importantes na eficiência do condicionamento por congelamento. A concentração/sicidade de lama é relevante no dimensionamento do equipamento de congelamento. O tempo de congelamento está relacionado com a fração de lama congelada. O tempo de congelamento é definido como o intervalo de tempo que cada bloco de gelo é exposto a uma temperatura de subcongelamento (Eddy *et al.*, 2013).

A tecnologia de congelamento/descongelamento é normalmente utilizada em regiões de clima frio. O grande consumo de energia para a repetida operação de congelamento/descongelamento limita a implementação deste processo em regiões que apresentem climas mais temperados/quentes (Wu *et al.*, 2020).

Condicionamento por tensão elétrica

Durante o tratamento através de uma tensão elétrica, é, inicialmente, aplicado um campo elétrico durante a desidratação, bem como uma pressão mecânica nas lamas, para melhorar a eficiência do processo de separação sólido-líquido, para além de aumentar a concentração de sólidos secos e de acelerar também a cinética da desidratação (Mahmoud *et al.*, 2018).

As partículas coloidais das lamas possuem, geralmente, uma carga superficial negativa, e, por isso, estão rodeadas por uma camada com maior densidade de cargas positivas. Quando um campo elétrico é aplicado, as partículas, normalmente carregadas negativamente, deslocam-se para o eletrodo da carga oposta. A água dos poros e intersticiais, normalmente com cátions associados, é conduzida em direção ao eletrodo negativo. O processo de tratamento através de tensão elétrica induz a migração de matéria orgânica presente nas lamas carregada negativamente (tais como ácidos gordos, substâncias húmicas, entre outros) (Mahmoud *et al.*, 2018).

A migração de partículas carregadas, impulsionadas pelo campo elétrico, causa a acumulação de partículas de lama no cátodo/ânodo que tem as cargas opostas, melhorando, desta forma, a separação sólido-líquido. A combinação entre a tensão elétrica e a pressão mecânica pode aumentar a concentração da lama desidratada (Wu *et al.*, 2020).

Condicionamento por sonicação

A sonicação é definida por Yang *et al.*, (2021) como o processo que utiliza a energia das ondas sonoras (do ultrassom de alta intensidade). Este autor refere ainda que é uma tecnologia que altera a estrutura das proteínas por meio de uma combinação de efeitos térmicos, cisalhamento, cavitação e turbulência.

Existem dois processos que transformam uma substância do estado líquido para o estado gasoso (ebulição e cavitação). A ebulição ocorre com condições de pressão constante e com aumento de temperatura, ao invés, se ocorrer a temperatura constante, com diminuição da pressão, é designado por cavitação (Eddy *et al.*, 2013).

A cavitação oferece um imenso potencial para alterar a microestrutura dos flocos da lama de forma a tornar o processo de desidratação mais eficiente (Wu *et al.*, 2020). A cavitação acústica é gerada pela utilização de ultrassons de baixa frequência. Entende-se por ultrassom, um som cíclico de compressão e expansão com uma frequência superior a 20 kHz (Wu *et al.*, 2020). Devido a esta pressão cíclica negativa, ocorre o processo de cavitação acústica através de forças de cisalhamento mecânico. Estas tensões provocam a rotura das paredes celulares (lise celular), libertando os tecidos e órgãos intracelulares para a fase aquosa, processo que ajuda a desintegrar os flocos biológicos e a homogeneizar (Wu *et al.*, 2020). Estas alterações foram consideradas eficazes para diminuir o teor de água das lamas desidratadas por compressão mecânica (Hogan *et al.*, 2004) e (Bien & Wolny, 1997).

Condicionamento por adição de materiais inertes

Condicionadores físicos, muitas vezes conhecidos como “construtores de esqueletos”, são normalmente utilizados para reduzir a compressibilidade da lama e melhorar a resistência mecânica e a permeabilidade do sólido da lama durante a compressão. Estes condicionadores físicos podem formar uma estrutura da malha que pode permanecer porosa sob alta pressão durante a desidratação mecânica. Uma vasta gama de condicionadores físicos, à base de materiais constituídos por carbono, tem sido utilizada, incluindo o carvão, lã de ovelha, bioresíduos, tais como aparas de madeira, trigo, casca de arroz. Outros tipos de materiais, como os minerais, incluindo cinzas e cimento, também têm sido utilizados. Um condicionador físico pode ser utilizado sozinho para melhorar a desidratação de lamas, como na investigação de Jing *et al.*, (1999). Contudo, é mais frequente a adição de um condicionador físico após coagulação ou floculação.

A fim de melhorar a capacidade de desidratação de lamas, é importante reduzir a resistência específica das mesmas (diminuir SRF), aumentando a porosidade do bolo e reduzindo a sua compressibilidade (Zall *et al.*, 1987). Por este motivo, a utilização de materiais sólidos, que são geralmente inertes, com uma porosidade relativamente alta e uma estrutura rígida, pode ser benéfica durante a desidratação mecânica, quando misturada com lama, que apresente baixa capacidade de desidratação. Estes materiais são condicionadores físicos, por vezes denominados “construtores de esqueletos” ou auxiliares de filtração. Os “construtores de esqueletos” não são necessariamente materiais estranhos intencionalmente adicionados à lama de modo a ajudar a sua desidratação. Verificou-se que os condicionadores químicos inorgânicos e as lamas com baixa compressibilidade atuam como construtores de esqueletos durante a desidratação das mesmas. Os condicionadores químicos inorgânicos são geralmente menos compressíveis e mais fáceis de desidratar, portanto, os condicionadores inorgânicos são frequentemente utilizados em processos de desidratação com elevada pressão, enquanto que os polímeros orgânicos sintéticos são mais frequentemente utilizados em equipamentos de desidratação cuja força de compressão é mais reduzida (Qi *et al.*, 2011b).

Contudo, o condicionamento por adição de materiais inertes pode aumentar o volume final de lama desidratada e, conseqüentemente, aumentar o custo de encaminhamento a destino final. Os materiais à base de carbono têm vantagens em comparação com outros materiais à base de minerais, devido à capacidade de aumentar a permeabilidade, sem diminuir o poder calorífico das lamas, sendo um fator a favor da incineração de lamas desidratadas. Além disso, a dimensão da partícula de material poroso deve exceder 10 µm, a fim de não bloquear os meios de filtração (Wu *et al.*, 2020).

A Figura 2.4 mostra, esquematicamente, uma lama “b” que apresenta baixa compressibilidade, mantendo a sua estrutura porosa, contrariamente à representação “a” que ilustra uma lama compressível, perdendo a sua estrutura porosa e dificultando o escoamento da água. No Anexo II, é apresentada uma tabela com diferentes tipos e doses de condicionador físico estudados por diferentes autores/investigadores.

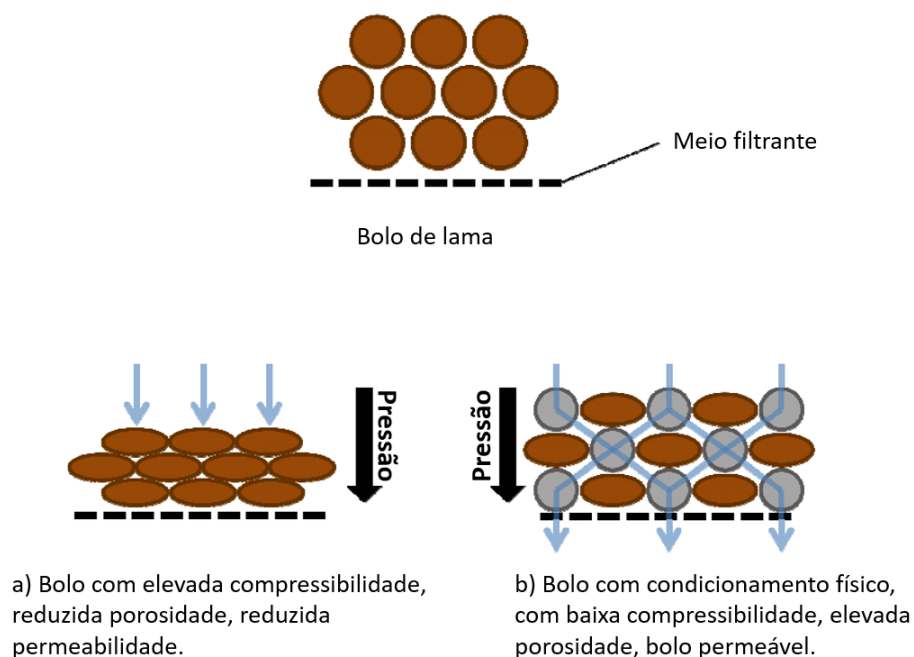


Figura 2.4- Representação esquemática do bolo de lama [Adaptado de Amin, 2014].

2.4.4. Avaliação do condicionamento

A seleção do produto químico mais apropriado bem como a sua dosagem para o condicionamento das lamas é de importância crítica (Eddy *et al.*, 2013). A eficácia da aglomeração (formação de grandes agregados a partir de partículas de menores dimensões) pode ser avaliada utilizando um ensaio tipo *Jar-test*. Contudo, outras propriedades, tais como a resistência mecânica e a deformabilidade dos agregados formados, também podem ser importantes para determinar a eficiência da operação de espessamento ou de desidratação. A eficiência da utilização de produtos químicos nas etapas de espessamento e de desidratação é geralmente avaliada através dos ensaios de CST e SRF.

Ensaio Jar-test

O ensaio *Jar-test* é, frequentemente, utilizado para avaliar a eficiência dos vários reagentes disponíveis no mercado, sendo também usado na escolha da melhor dosagem dos mesmos. O *Jar-test* é um ensaio realizado num equipamento constituído por copos e pás giratórias, de velocidade regulável e que permite simular os processos de coagulação e floculação (EPA, 1987). O ensaio decorre numa série de copos, contendo volumes iguais de lama, aos quais são adicionadas quantidades variáveis de reagentes (Alves, 2010). Através deste ensaio, é possível verificar, visualmente, qual o reagente/ dose que forma um maior agregado de partículas (EPA, 1987). A imagem correspondente a um ensaio *Jar-test* encontra-se representado esquematicamente na Figura 2.5.

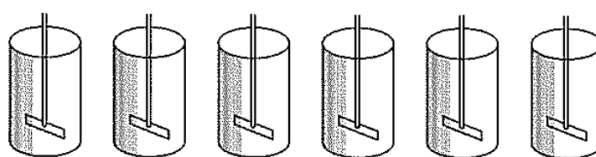


Figura 2.5- Ensaio *Jar-test*. [Fonte: Alves,2010].

Ensaio SRF

A SRF mede a resistência à filtração (ou resistência à saída do filtrado) por uma quantidade de bolo depositado em 1 m² de superfície filtrante e contendo 1 kg de matéria seca.

O desempenho da desidratação de lamas é avaliado pela taxa de filtração e pela concentração de sólidos do bolo de lama. A teoria da filtração foi desenvolvida para avaliação da filtrabilidade das lamas. A teoria assume que existe um fluxo unidirecional Darciano (segue as leis de Darcy), sem transferência de massa entre líquidos e sólidos, forças gravitacionais insignificantes e uma velocidade de sólido negligenciável em comparação com a velocidade do líquido. A equação pode ser expressa como (Qi *et al.*, 2011b):

$$q = \frac{1}{\alpha\mu} \frac{dp_l}{d\omega}$$

Onde:

q- Fluxo do líquido relativo aos sólidos (m/s)

α - Resistência específica (m/kg)

μ - Viscosidade do líquido (Pa.s)

ω - Quantidade de sólidos depositados no bolo de lama por unidade de área (kg/m²)

p_l - Pressão do líquido (Pa)

Qi *et al.*, (2011b), deduz a fórmula considerando que a pressão se mantém constante ao longo de todo o ensaio e que a resistência do filtro de papel é negligenciável tendo em conta a resistência do bolo de lama, obtendo que:

$$SRF = \frac{2P \cdot m \cdot A^2}{\mu \cdot C}$$

Onde:

SRF- Resistência específica à filtração (m/kg)

μ - Viscosidade do líquido (Pa.s)

P- Pressão da filtração (Pa)

A- Área/secção da filtração (m²)

m- Declive da reta V/T versus V (s/m⁻⁶)

C- Concentração do bolo da lama (Kg/m³)

Como a SRF mede a resistência à filtração, valores elevados de SRF implicam menor capacidade de desidratação. Em contrapartida, valores baixos de SRF indicam que a lama apresenta uma maior facilidade em desidratar. A determinação da SRF é geralmente realizada com várias dosagens de reagentes, sendo apresentada, normalmente, nestes estudos uma análise gráfica SRF vs Dose de condicionador, como mostra a Figura 2.6. Desta forma, é possível perceber visualmente qual a melhor dosagem de reagente.

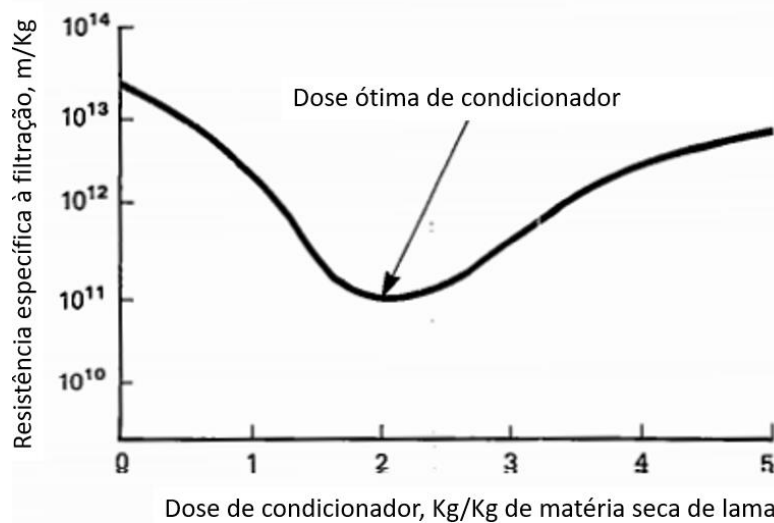


Figura 2.6- SRF vs dose de condicionador. [Adaptado de EPA, 1987].

O teste de resistência específica à filtração é um método de previsão do desempenho do agente condicionador. O equipamento necessário para este teste consiste num funil *Büchner*, proveta graduada, filtro de papel, manómetro, borracha de ajuste do funil *Büchner* à proveta e bomba de vácuo, como mostra a Figura 2.7.

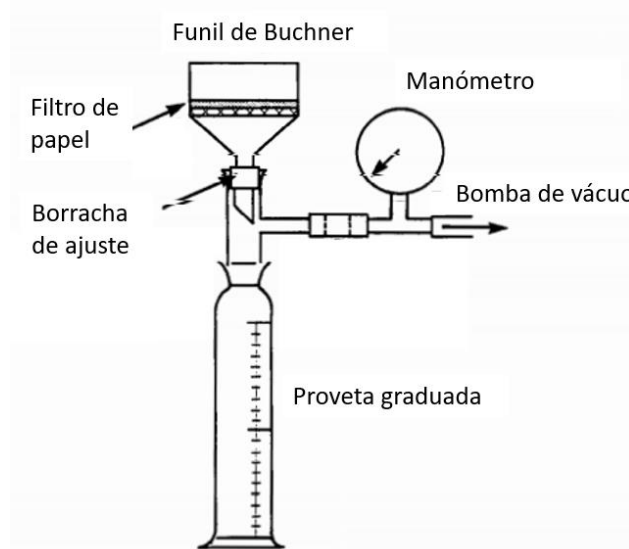


Figura 2.7- Representação esquemática da montagem do ensaio de SRF. [Adaptado de EPA, 1987].

Durante o ensaio, é medido o volume do filtrado e registado o tempo. Posteriormente ao ensaio, é traçada a reta Tempo/Volume de filtrado no eixo das ordenadas e no eixo das abscissas, sendo colocado o volume de filtrado como demonstra a Figura 2.8. De seguida, é ajustada uma função linear de primeiro grau aos valores obtidos. O declive da reta é posteriormente utilizado no cálculo da SRF.

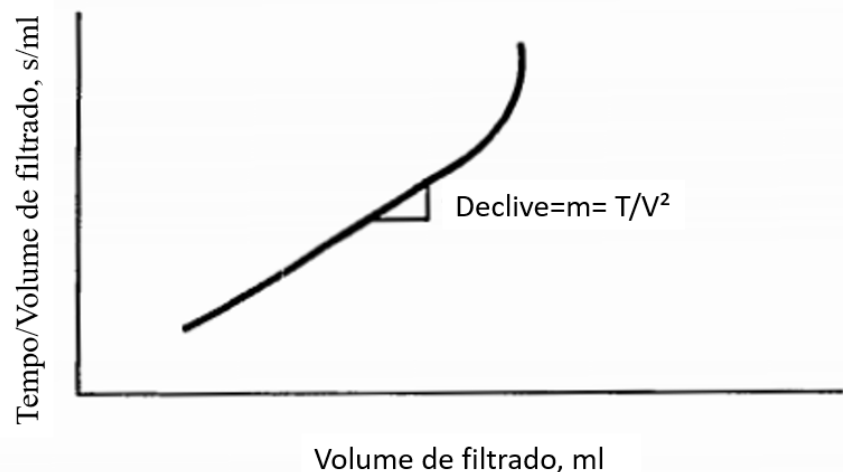


Figura 2.8-Tempo/Volume vs volume de filtrado. [Adaptado de EPA, 1987].

Na Tabela 2.1, são apresentados alguns valores típicos de SRF para diferentes tipos de lama.

Tabela 2.1-Valores típicos para resistência específica à filtração para lama. [Fonte: Christensen, 1983]

Descrição do tipo/fonte da lama	SRF (m/kg)
Efluente bruto	$1,5-5 \times 10^{14}$
Lama proveniente de tratamento de biomassa suspensa	$1-10 \times 10^{13}$
Lama proveniente de tratamento de biomassa fixa	$1-10 \times 10^{13}$
Lama mista digerida	$1-6 \times 10^{14}$
Lama mista digerida com condicionamento químico	$3-40 \times 10^{11}$

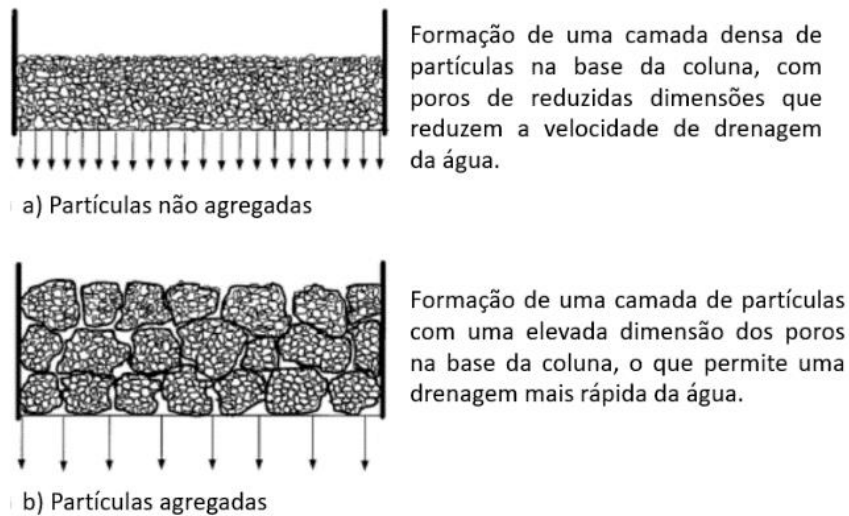
Através da Tabela 2.1, verificamos que a lama com condicionamento químico apresenta valores inferiores de SRF, o que indica uma maior capacidade de desidratação. Em contrapartida, as lamas dos tipos “efluente bruto”, “proveniente do tratamento de biomassa fixa”, digerida anaerobiamente” e “mista digerida” apresentam uma menor capacidade de desidratação, visto que os valores de SRF são mais elevados face às demais.

Ensaio de capillary suction to filtration (tempo de sucção capilar)

O tempo de sucção capilar (CST) foi originalmente desenvolvido como um método simples de determinação da capacidade de desidratação (ou seja, a capacidade intrínseca à matriz de lamas para libertar água) e para avaliação dos efeitos dos produtos químicos no condicionamento da lama (Gray, 2015). O teste CST baseia-se na retenção de um volume de lama numa coluna, formando-se uma camada de sólidos concentrados na base. Uma fina camada porosa (um papel de filtro) é colocada na base da coluna, o que permitirá drenar a água livre (não quimicamente ligada à fase sólida da lama). Esta água desloca-se radialmente na camada porosa a partir da base da coluna, devido à aspiração capilar. A taxa de movimento (tempo necessário para mover uma dada distância), através da camada porosa, depende principalmente da permeabilidade do leito de sólidos concentrados e da capacidade de retenção de água dos sólidos.

A deposição dos sólidos na coluna pode formar uma camada densamente compacta com pequenos interstícios, onde a água passará lentamente (ou seja, CST baixo). Nos locais onde os sólidos formam grandes agregados ou são menos compactados com interstícios maiores, a água passará através do leito a uma taxa mais elevada (ou seja, CST elevado) (Figura 2.9, b). Os principais fatores que afetam o CST são: a temperatura, o pH e a concentração da lama (Gray, 2015).

O Tempo de Sucção Capilar (CST) é o teste expedito que mede o tempo necessário para que a parte líquida da lama (água) se desloque uma determinada distância fixa (geralmente 1 cm) (EPA, 1987).



2.9- Diferença entre a formação de uma camada densa ou desagregada na base da coluna. [Adaptado de Gray, 2015]

O “set up” de medição do CST (Figura 2.10) consiste num dispositivo de cronometragem, uma placa superior contendo sondas que ativam e desativam o dispositivo de temporização, uma placa inferior que segura o filtro de papel e um recipiente de amostras metálicas (coluna). Uma amostra de lama acondicionada é colocada no recipiente de amostras. À medida que a água migra através do papel e chega à primeira sonda, é ativado o temporizador. Quando a água chega à segunda sonda, o temporizador desativa-se (EPA, 1987). O intervalo de tempo entre a ativação e desativação do temporizador é o tempo de sucção capilar, que constitui uma medida da capacidade de desidratação da lama condicionada. É, geralmente, traçado o tempo de sucção capilar versus a dosagem química (EPA, 1987). Desta forma, a dosagem que obteve um tempo mais rápido é a ideal. Devem ser analisados diferentes tipos de condicionadores e respetivas dosagens, de modo a otimizar o processo de desidratação (EPA, 1987).

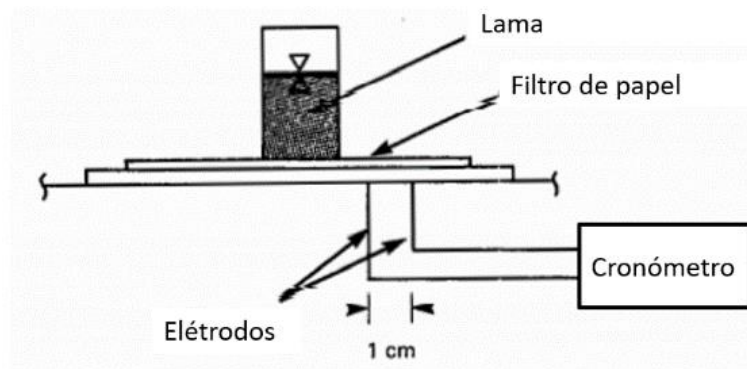


Figura 2.10- Representação esquemática do equipamento de medição de CST. [Adaptado de EPA, 1987].

2.5 Floculação e Coagulação

As partículas de reduzidas dimensões, com um diâmetro compreendido entre 0,001 μm a 1 μm , são designadas como partículas coloidais (Karr & Keinath, 1978). Estas partículas, apresentam, geralmente, uma carga superficial negativa, de grandeza variável. As partículas negativas atraem para a sua superfície cátions. Uma camada de iões liga-se diretamente à partícula. A esta camada dá-se o nome de camada fixa, a qual é rodeada por outra camada menos consistente (camada difusa). A Figura 2.11 mostra esquematicamente as diferentes camadas das partículas. Estas partículas, em solução, são bastante estáveis, uma vez que a carga elétrica desenvolvida em redor das partículas coloidais tende a afastá-las umas das outras (Alves, 2010).

Para ajudar no processo de desidratação, são frequentemente utilizados processos de coagulação e de floculação. A floculação é um processo que tem como objetivo promover o contacto, através de mistura lenta, das partículas destabilizadas e favorecer a agregação (Alves, 2010). A coagulação é uma operação que tem como objetivo a destabilização das partículas, ou seja, facilitar a sua aglomeração (Alves, 2010).

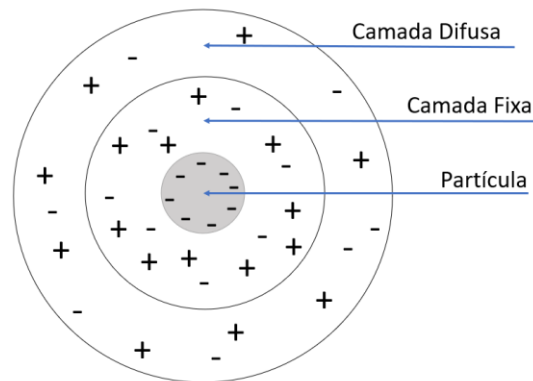


Figura 2.11- Diferentes camadas da partícula. [Fonte Alves, 2010].

2.5.1. Coagulação

A coagulação é o processo de destabilização das partículas coloidais, proporcionando uma maior probabilidade de colisão das mesmas para posterior aglomeração. Dependendo do coagulante utilizado para quebrar a estabilidade das suspensões coloidais, podem considerar-se vários mecanismos:

a) Adsorção e neutralização de carga

A coagulação é o processo de destabilização das partículas coloidais, proporcionando uma maior probabilidade de colisão das mesmas para posterior aglomeração. Este mecanismo ocorre quando se usam coagulantes, geralmente catiónicos, os contra iões de carga positiva, que se tornam parte da nuvem iónica que envolve a partícula. Devido à elevada afinidade com as superfícies coloidais, são adsorvidos pelas partículas, neutralizando a carga superficial. Esta neutralização de cargas gera a redução da energia de repulsão dos coloides, destabilizando-os e favorecendo a sua colisão, gerando-se, deste modo, a aglomeração de partículas (Alves, 2010) e (Eddy *et al.*, 2013).

b) Adsorção e formação de pontes entre partículas

Este mecanismo ocorre com polímeros aniônicos e/ou não iônicos. Os polímeros de cadeias ramificadas ou de longa cadeia linear, com uma superfície que contenha vários locais ativos, podem adsorver várias partículas coloidais, formando pontes entre si. É importante salientar a necessidade de uma mistura com um elevado gradiente, de forma a garantir a adsorção do polímero pela matéria coloidal. A Figura 2.12 mostra, esquematicamente, o processo de adsorção e agregação das partículas (Alves, 2010) e (Eddy *et al.*, 2013).

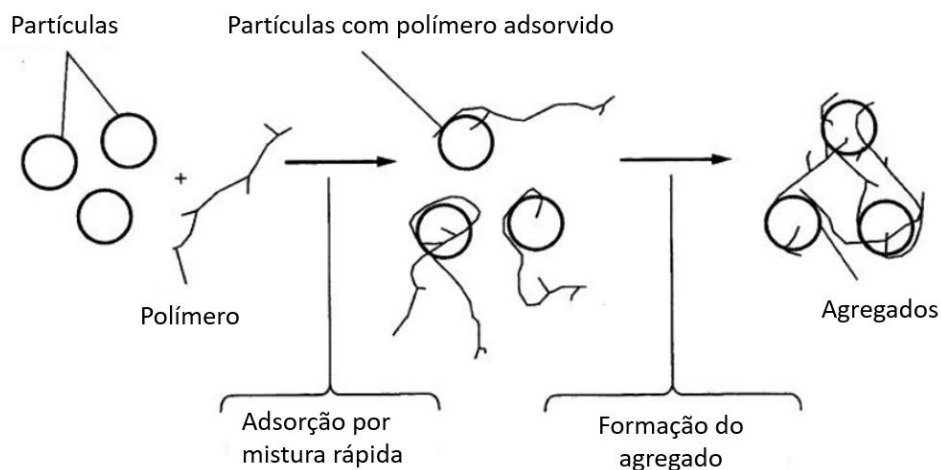


Figura 2.12- Formação de agregados por polímeros orgânicos. [Adaptado de Eddy *et al.*, 2013].

c) Precipitação por arrastamento

Dosagens elevadas de coagulante na água levam à produção de quantidades significativas de agregados de hidróxidos, os quais apresentam carga positiva, ao contrário da maioria dos colóides encontrados na água, formando uma agregação eletrostática. Este processo aumenta a concentração de sólidos na água, proporcionando uma maior probabilidade de colisão e possibilitando ainda a formação de pontes entre hidróxidos, o que confere uma maior rigidez nos agregados formados (Eddy *et al.*, 2013). Este processo não é muito aplicado no condicionamento de lamas, sendo mais frequentemente utilizado no apoio da decantação assistida e na remoção de turvação nas ETA (Eddy *et al.*, 2013).

d) Compressão da dupla camada

No momento em que duas partículas se aproximam, gera-se uma força de repulsão, devida à interação entre as camadas iônicas, e uma força de atração, devido à existência de forças de Van der Waals entre as partículas. O balanço das duas forças é repulsivo quando as partículas se aproximam, tornando-se atrativo quando se ultrapassa a distância crítica e se vence a barreira de energia que impede a aproximação. A adição de sais à solução (aumento da força iônica) provoca uma compressão da dupla camada iônica e uma redução do potencial de repulsão entre as partículas, tornando a dupla camada mais densa e fina, favorecendo a colisão entre partículas. Este efeito é tanto maior quanto maior for a valência do íon adicionado, uma vez que a velocidade de compressão da dupla camada aumenta, acelerando o processo de coagulação. Se houver uma compressão suficiente, as forças de Van der Waals tornar-se-ão dominantes e o balanço de forças será atrativo, sem que exista barreira energética a vencer. Desta forma, as partículas tenderão a aglomerar-se.

Na Figura 2.13, é possível verificar o balanço das forças entre duas partículas coloidais sem (Figura 2.13,a) e com a adição (Figura 2.13,c) de sais, sendo possível verificar o efeito da adição de sais na redução do potencial eletrostático (Alves, 2010) (Eddy *et al.*, 2013).

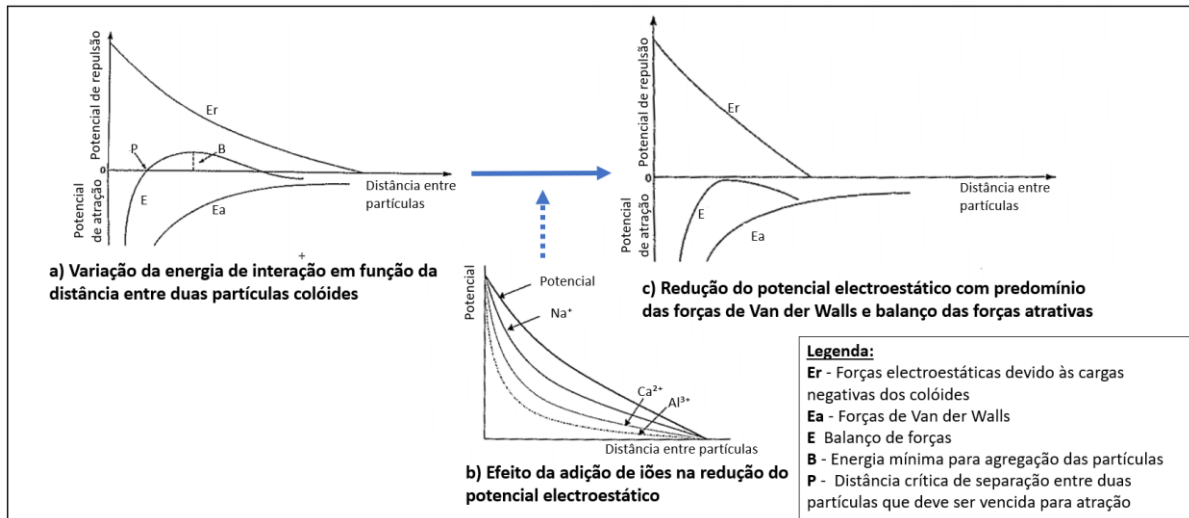


Figura 2.13-Efeito da adição de sais na redução do potencial eletrostático. [Adaptado de Alves, 2010].

2.5.2. Floculação

A floculação destina-se a promover a colisão das partículas destabilizadas e a favorecer a sua agregação em flocos, através de uma mistura lenta. A mistura deve ser suficientemente intensa para permitir o contacto entre partículas e não desagregar os flocos.

A formação de flocos pode desencadear-se por dois processos: floculação pericinética (ou microfloculação) e floculação ortocinética (ou macrofloculação). Na floculação pericinética, as partículas colidem, entre si, devido à sua movimentação aleatória. O volume e o número de colisões por unidade de tempo são duas variáveis relevantes no processo de floculação pericinética. Os gradientes de velocidade são devidos a movimentos brownianos. Estes movimentos são definidos por Santos & Junior, (2021), como movimentos irregulares, aleatórios de pequenas partículas suspensas em meio líquido ou gasoso. Na floculação ortocinética, as partículas colidem devido à turbulência gerada na água por forças extrínsecas, normalmente por forças mecânicas exteriores. As partículas coloidais, inferiores a $1\mu\text{m}$, estão, geralmente, submetidas a floculação pericinética, enquanto as de maior tamanho são afetadas principalmente pelo gradiente de velocidade do líquido, predominando a floculação ortocinética.

Os floculantes, também designados adjuvantes da coagulação, favorecem a velocidade da reação (aceleração do processo de floculação) e a qualidade do floco formado (floco mais denso e mais coeso).

3. Metodologia

A fim de estudar a utilização de LETA como condicionador de lama, de forma a melhorar a capacidade de desidratação, foi selecionada uma ETAR que apresentasse uma dimensão média para a escala nacional e que, no tratamento da fase sólida, apresentasse uma etapa de digestão, para possibilitar o estudo do condicionamento com LETA em lamas mistas e digeridas. A ETAR em estudo encontra-se descrita no próximo subcapítulo (3.1.).

3.1 ETAR de Castelo Branco

A ETAR do presente estudo localiza-se no distrito de Castelo Branco, próximo do acesso Sul à autoestrada A23, como mostra a Figura 3.1. A ETAR foi projetada, essencialmente, para a receção de efluente doméstico, contudo, foram estimados um caudal e uma carga poluente industrial afluente à ETAR de cerca de, 20% e 55% respetivamente.



Figura 3.1- Localização da ETAR Castelo Branco. Fonte: Google Earth, março 2021

A ETAR de Castelo Branco recebe os efluentes por dois emissários distintos:

- Emissário Norte: chegada em pressão, caudal 135l/s, chegada à cota 323,32m;
- Emissário Sul: chegada gravítica, caudal 250l/s, chegada à cota 317,90m.

O Emissário Norte é diretamente encaminhado para montante dos canais de gradagem/tamisagem. O emissário Sul é descarregado para a elevação inicial através de parafusos de Arquimedes.

A ETAR descarrega o efluente tratado na Ribeira da Torre, encontrando-se a Licença de descarga em vigor à data da presente dissertação no Anexo III.

No Anexo IV encontra-se o diagrama da ETAR com os diferentes processos de tratamento (fase líquida e fase sólida).

Na Figura 3.2 são indicados os principais edifícios/processos/equipamentos da ETAR em estudo.

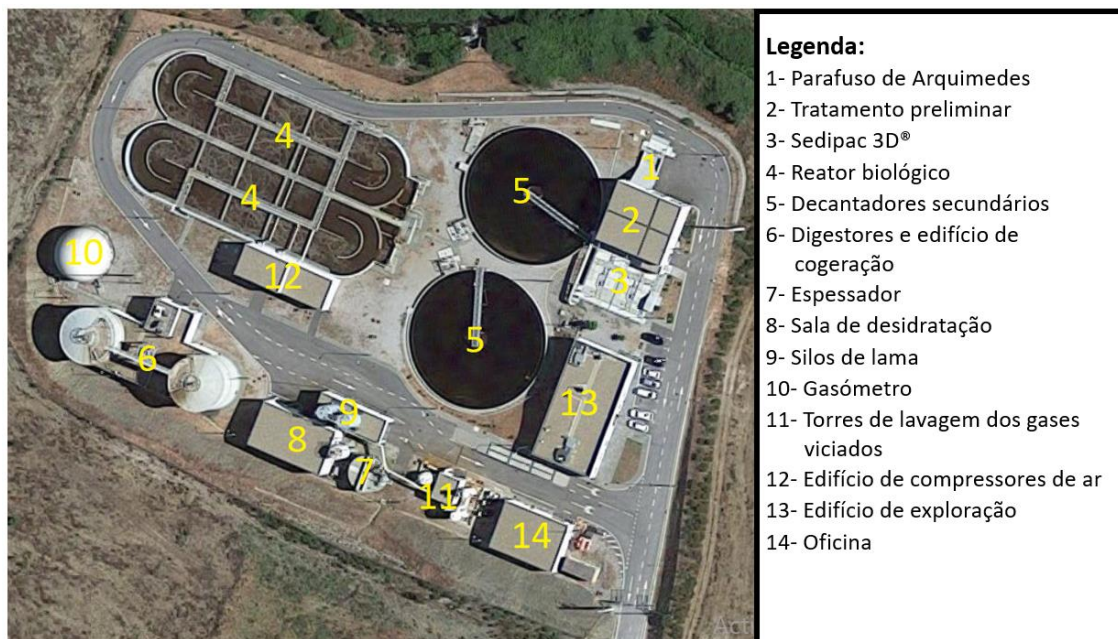


Figura 3.2- Identificação dos principais edifícios/processos/equipamentos da ETAR. Fonte: Google Maps, março 2021

3.1. Tratamento da fase líquida

No Anexo V, encontra-se o esquema de tratamento da fase líquida da ETAR de Castelo Branco.

3.1.1. Tratamento preliminar

Como já referido, o efluente proveniente da bacia sul chega graviticamente à ETAR de Castelo Branco, juntando-se com as escorrências da fase sólida e sendo, posteriormente, elevado através de três parafusos de Arquimedes (2+1, um instalado de reserva), cada um com uma capacidade de elevação de 250l/s.

A jusante desta etapa, entra na linha de tratamento o efluente proveniente da bacia de drenagem norte, através da Estação Elevatória Norte Castelo Branco.

3.1.1.1 Gradagem/ Tamisagem

A gradagem e tamisagem são realizadas em canal retangular e em duas fases distintas. Após a entrada do efluente na ETAR, este é encaminhado, numa primeira fase, para uma gradagem automática de 40mm, passando, de seguida, por um tamisador tipo tambor rotativo com uma malha de 6mm. Os resíduos da gradagem e da tamisagem são encaminhados através de dois parafusos rotativos para um contentor onde, posteriormente, serão encaminhados a destino final.

A ETAR dispõe ainda de um canal de recurso com gradagem manual, a utilizar em caso de necessidade de intervenção de manutenção dos equipamentos de gradagem mecânica e/ou tamisagem.

3.1.1.2. Remoção de areias e de gorduras/decantação primária

As etapas de remoção de areias e de gorduras, bem como a decantação primária são realizadas num único órgão compacto, de concepção *Degrémont*: o *Sedipac 3D*[®]. Foram instalados na ETAR dois *Sedipac 3D*[®] em paralelo.

O *Sedipac 3D*[®] é um órgão desenvolvido pela *Degrémont*, que permite a realização, num único equipamento, de três operações:

- O Desarenamento
- O Desengorduramento
- A Decantação primária lamelar

O *Sedipac 3D*[®] caracteriza-se por apresentar uma redução da área ocupada, quando comparada com órgãos tradicionais; uma grande inércia às variações de carga e caudal; rendimentos elevados em cada etapa de tratamento; boa qualidade de água tratada. O funcionamento caracteriza-se por:

- Um reator de forte energia específica, com injeção de ar comprimido por difusores de bolha média tipo *Vibrair* (concepção *Degrémont*), assegura a separação de areias da matéria orgânica envolvente. Este reator está indicado na Figura 3.3, com o número 1.
- Uma zona de alimentação do decantador em fluxo ascendente, permitindo a separação das gorduras por flotação. Etapa assegurada por difusores de ar tipo bolha fina. Esta zona encontra-se assinalada na Figura 3.3, com o número 2.
- Um pré decantador eficiente, no qual a maior parte da matéria em suspensão é decantada (zona 3, Figura 3.3).
- Uma zona de decantação lamelar na qual as últimas matérias em suspensão são separadas do efluente líquido (zona 4 Figura 3.3).
- A extração de lamas (zona 5, Figura 3.3).

Os *Sedipac 3D*[®] estão cobertos, ao nível do plano de água, por uma cobertura amovível composta por placas de material composite.

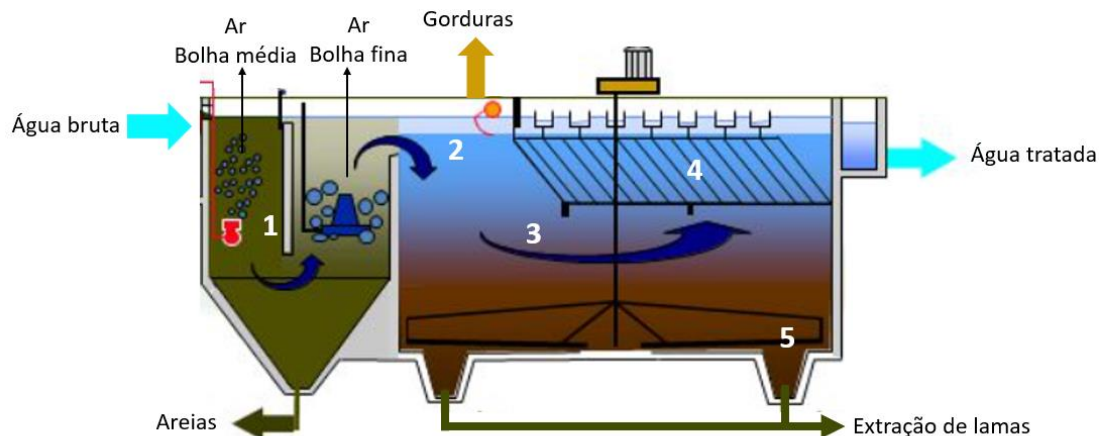


Figura 3.3-Esquema de funcionamento do Sedipac 3D[®] Fonte: SUEZ

As gorduras retiradas sofrem ainda um processo de concentração no concentrador de gorduras. As gorduras concentradas são encaminhadas para o tanque de lamas mistas.

As areias retiradas são encaminhadas para um classificador de areias, o qual tem como objetivo aumentar a concentração de areias, assegurando também a sua lavagem.

3.1.2. Tratamento biológico

O reator biológico presente na ETAR de Castelo Branco funciona em regime de mistura integral, tipo vala de oxidação (com duas linhas de tratamento). A obtenção das condições aeróbia e anóxica consegue-se alternando os períodos de arejamento com períodos de não-arejamento.

Num reator do tipo convencional, as operações de nitrificação e desnitrificação ocorrem simultaneamente em locais distintos. Num reator biológico, tipo vala de oxidação, as operações de nitrificação e desnitrificação ocorrem no mesmo local, em momentos diferentes.

A montante dos reatores biológicos, o efluente passa por tanques intermédios sem arejamento (em condições anóxicas), designados por tanques de contacto, que se destinam à prevenção do aparecimento de bactérias filamentosas (nomeadamente, *Nocardia*, *Microthinx* e *Parvicella*). Estes tanques permitem ainda o doseamento de cloreto férrico e a receção das lamas biológicas de recirculação do decantador secundário. É importante salientar que os tanques de contacto apresentam agitadores submersíveis, de modo a não existirem processos de decantação de biomassa no fundo do tanque.

Cada reator biológico está equipado com dois conjuntos de dois electroagitadores de velocidade lenta e de grande diâmetro (do tipo "*Flow Macker*"). Os electroagitadores garantem a velocidade do efluente em cada ponto do tanque, de modo a evitar a formação de depósitos no fundo do reator biológico.

O reator biológico está equipado com 4 sondas: oxigénio; redox; azoto amoniacal e sólidos suspensos totais. A partir desta instrumentação, é aferido o período ideal de arejamento e a concentração de lamas no reator biológico.

Os reatores apresentam uma altura de lâmina líquida de 6m, sendo a injeção de ar no fundo dos tanques efetuada por meio de difusores de bolha fina.

A idade de lamas é mantida na ordem dos 18 dias e a concentração de lamas pode variar entre os 2,5g/l a 3,5g/l.

Cada reator biológico apresenta um volume de 6000m³.

3.1.3. Decantação secundária

A decantação secundária tem como objetivos:

1. Clarificação: separação entre as lamas biológicas formadas nos tanques de arejamento e a água decantada;
2. Espessamento: concentração das lamas antes do seu reenvio para os tanques de arejamento;
3. Armazenamento temporário: armazenamento do fluxo de lamas biológicas gerado em períodos de ponta.

A ETAR de Castelo Branco está equipada com dois decantadores circulares com fundo inclinado, onde existe uma tremonha, de onde são recolhidas as lamas para recirculação. O decantador secundário está equipado com um sistema de sucção de lamas do fundo (conceção *Degrémont*, denominado *RacSuc*[®]). Neste processo, as lamas que decantarem junto à periferia do decantador são recolhidas por dois conjuntos de tubagens, com auxílio da ponte raspadora, os quais efetuam circunferências tais que dividem a superfície do fundo em três partes iguais. Este sistema conduz as lamas da periferia até ao cone central do decantador, evitando a permanência excessiva da lama nos decantadores. A ponte raspadora de superfície permite retirar as escumas, que são posteriormente enviadas para a cabeça da estação.

Os decantadores secundários estão providos de pontes raspadoras de fundo e de superfície. Os efluentes clarificados são recolhidos por uma caleira periférica. O decantador apresenta cerca de 3m de altura e um diâmetro de 31m.

3.1.4. Reutilização do efluente tratado

À data da presente dissertação, o sistema de reutilização de água residual tratada não se encontrava em funcionamento pela existência de uma avaria no equipamento de desinfecção que é constituído por radiação ultravioleta.

A água clarificada, vinda do decantador secundário, é elevada, por meio de duas bombas submersíveis (1+1) instaladas numa Estação Elevatória para, ser encaminhada a uma etapa de filtração (num microtamizador com) e posteriormente desinfetada, recorrendo a um reator de UV, ficando assim disponível para μm reutilizar na própria instalação..

3.2. Tratamento da fase sólida

No Anexo VI, encontra-se o esquema de tratamento da fase líquida da ETAR de Castelo Branco.

3.2.1. Mesa de espessamento mecânico

As lamas em excesso são retiradas diretamente do reator biológico para duas mesas de espessamento situadas na sala de desidratação. As mesas de espessamento foram instaladas pela *Degrémont* (tipo GDD 3000), cada uma com 3m de largura de grelha. A lama com origem no reator biológico é introduzida na grelha da GDD, num flocculador dinâmico que alimenta a cuba de partição. O flocculador apresenta um agitador, com o objetivo de realizar uma mistura homogénea entre a lama e o polieletrólito. A mesa de espessamento é constituída por uma grelha formada por barras paralelas entre si, no sentido da circulação da lama flocculada. A mesa de espessamento apresenta dois espessamentos diferentes: um de 350 μm e outro de 600 μm, permitindo um espessamento progressivo da lama. Este equipamento está munido de um sistema de autolimpeza.

A água intersticial vai passar através das malhas da grelha e a lama espessada é retirada graviticamente. Os filtrados são recolhidos na parte inferior do aparelho e retornam para a rede de escorrências. Este equipamento recebe as lamas do reator biológico a 2,5 a 3,3 g/L e espessa a 40 a 70 g/l.

A ETAR apresenta uma unidade de preparação de polieletrólito. O polieletrólito chega à ETAR com uma concentração de 40% de matéria ativa. A jusante da unidade, o polieletrólito sai a uma concentração de 2g/l a 2,5g/l. No ano anterior à presente dissertação, a concentração média doseada de polieletrólito foi de 1,83g de polieletrólito/m³de lama.

3.2.2. Espessador gravítico

As lamas primárias são retiradas diretamente do *Sedipac 3D*® para um tamizador com uma malha de 3mm. Este equipamento localiza-se na parte superior do espessador gravítico. Posteriormente a esta etapa, a lama entra para o espessador através de uma saia central que reparte a lama.

A água clarificada é recolhida, por transbordo, sobre a caleira periférica, fluindo por gravidade, em direção à obra de entrada. O espessador apresenta um raspador que conduz a lama a uma tremonha no fundo do tanque. O espessador apresenta um diâmetro de 8m. As lamas do espessador são extraídas por meio de duas bombas parafusos (uma de reserva). É

medido o caudal das lamas extraídas do espessador através de um medidor de caudal eletromagnético.

3.2.3. Tanque de lamas mistas

De modo a homogeneizar as lamas à entrada do digestor, foi implementado um tanque de armazenamento e mistura de lamas com um volume de 75m³. Este tanque é alimentado com:

- Lamas primárias espessadas;
- Lamas biológicas provenientes da mesa de espessamento;
- Gorduras concentradas vindas do tratamento preliminar;
- Possível utilização de cloreto férrico e leite de cal (durante o período relativo a esta dissertação tais reagentes não estavam a ser doseados).

3.2.4. Digestor anaeróbio de lamas

A digestão anaeróbia de lamas é um processo de estabilização. A matéria orgânica das lamas, num reator sem contacto com oxigénio e a uma temperatura média de 35°C, sofre a ação das bactérias hidrolisantes, que degradam as cadeias moleculares, e das bactérias acidogénicas e das metanogénicas, que conduzem, após um tempo de retenção, de aproximadamente 15 a 20 dias, à decomposição das moléculas complexas até aos seus monómeros e em seguida aos ácidos gordos voláteis e no final em metano e dióxido de carbono. A digestão anaeróbia de lamas consegue reduzir a matéria volátil e a quantidade total de lamas. Este processo permite ainda produzir energia com recurso ao biogás (este é constituído por: 40% a 65% de metano; 30% a 60% de dióxido de carbono; e ainda por quantidades vestigiais de azoto, ácido sulfúrico e vapor de água). Este potencial é convertido em energia, através de um cogrador. Cada digestor está equipado com um electroagitador.

Para que seja possível a fermentação mesófila, é necessário que as lamas estejam a uma temperatura de 35°C. O aquecimento de lamas é realizado através de dois permutadores de placas (um em cada digestor). O aquecimento da água utilizada nos permutadores é realizado através de uma caldeira equipada com queimador de biogás e de gás propano. O biogás não utilizado é armazenado num gasómetro com um volume de 780m³. Por questões de segurança, caso haja necessidade de libertar o biogás, este é, preferencialmente, queimado na tocha, de modo a minimizar o impacto ambiental da libertação do biogás.

A ETAR de Castelo Branco apresenta dois digestores com um volume unitário de 1200m³. No entanto, à data da presente dissertação, encontrava-se apenas a funcionar um digestor, devido a operações de manutenção do segundo digestor. É necessário salientar que o circuito de água quente funciona em circuito fechado e utiliza água descalcificada de modo a evitar incrustações nas tubagens.

3.2.5. Desidratação

As lamas são encaminhadas para a desidratação por meio de um dos dois grupos eletrobomba de parafuso excêntrico (existindo ainda uma terceira bomba de reserva).

As lamas são desidratadas por meio de duas centrífugas (marca *ANDRITZ*, modelo D3LL) que trabalham 24/24h e 7 dias por semana, existindo paragens para manutenções e limpezas. As lamas desidratadas são descarregadas para uma tremonha, equipada com duas bombas parafuso, que elevam as lamas desidratadas para os dois silos existentes na ETAR. As escorrências da desidratação são enviadas para a cabeça da estação.

A montante das centrífugas, é doseado o polieletrólito (polímero). A ETAR de Castelo Branco está equipada com uma unidade de polieletrólito, sendo composta por:

- Uma tremonha para a colocação do polímero sob forma de pó;
- Uma cuba de preparação com electroagitador;
- Uma cuba para maturação (também com electroagitador);
- Uma cuba de armazenamento destinada a alimentar diretamente as duas bombas doseadoras de polieletrólito.

O caudal de polieletrólito é doseado proporcionalmente ao caudal de lamas digeridas a desidratar.

No ano anterior à presente dissertação, foram doseados 13,2 Kg de polímero/ton de matéria seca de lama (1,97g de polímero/m³ de lama).

O armazenamento da lama desidratada é feito através de dois silos, cada um com um volume de 65m³

3.3. Tratamento da fase gasosa

A ETAR de Castelo Branco está equipada com um sistema de tratamento de gases emanados por certos produtos contidos nas águas residuais ou provenientes das transformações efetuadas no decurso do tratamento de água residual. Os principais compostos que podem surtir em odores incómodos são: o amoníaco e as metilaminas; o ácido sulfúrico e o metilmercaptano; os formaldeídos e o acetaldeído. A ETAR de Castelo Branco aspira os gases viciados nos seguintes edifícios:

- I. Edifício da obra de entrada;
- II. *Sedipac 3D*[®];
- III. Espessador gravítico;
- IV. Tamisador de lamas primárias;
- V. Edifício de desidratação;
- VI. Silos de lama desidratada.

Os gases viciados são tratados através de lavagem química, processo em que são utilizadas duas colunas de absorção com enchimento (designadas por torres de lavagem) do tipo vertical, com escoamento contra-corrente.

Em cada uma das torres de lavagem, o ar a tratar é admitido na parte inferior enquanto a solução reativa de lavagem é dispersa no topo.

Na primeira torre, é realizada a lavagem ácida, em que se recorre ao ácido sulfúrico para eliminação dos compostos azotados (amoníaco, aminas, entre outros), através de reações de neutralização.

Na segunda torre de lavagem, é efetuada a lavagem oxidante/alcalina, com recurso ao hipoclorito de sódio. Esta torre tem como objetivo eliminar os sulfuretos de hidrogénio, os sulfuretos orgânicos e os mercaptanos.

3.2 ETA Asseiceira, Tomar

A ETA da Asseiceira (representada na Figura 3.4 e esquematizada no Anexo VIII) capta a água bruta na albufeira de Castelo de Bode, localizada no Rio Zêzere. A estação produz cerca de 625 mil m³ de água por dia para o consumo de cerca de 25% da população portuguesa. É a responsável pelo abastecimento de maior parte do distrito de Lisboa, abrangendo mais de 3 milhões de habitantes na cidade de Lisboa e nos municípios envolventes. Apresenta duas linhas de tratamento da fase líquida, uma com capacidade para tratar um volume de 500 000 m³ e outra para tratar os restantes 125 000 m³.



Figura 3.4- ETA Asseiceira. [Fonte: ADP, 2019]

O tratamento da fase líquida é constituído pelos seguintes processos:

- Pré-oxidação com cloro gasoso;
- Remineralização e correção de agressividade com água de cal e dióxido de carbono;
- Coagulação com sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) líquido, seguida de floculação e flotação;
- Ozonização intermédia;
- Filtração com filtros de areia;
- Ajuste de pH com cal;
- Cloragem intermédia no canal de água filtrada;
- Desinfecção com cloro gasoso.

A ETA da Asseiceira produz mais de 20 toneladas de lamas por dia, cerca de dez mil toneladas por ano, de uma produção total no país que ronda as 15 mil toneladas (ADP,2020). O tratamento da fase sólida é constituído por:

- Decantador lamelar, designado por *Densadeg*, que permite fazer um aproveitamento dos insolúveis de cal, provenientes dos saturadores e reutilizá-los para produzir novamente água de cal;
- Cisterna de lamas espessadas;
- Desidratação por centrifugação.

3.3 ETA de Santa Águeda

A ETA de Santa Águeda serve uma população de 63 mil habitantes equivalentes, apresenta uma capacidade máxima de produção de 2200m³/h. A ETA de Santa Águeda foi concebida para satisfazer as necessidades de abastecimento de água dos municípios de Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Vila Velha de Rodão e parte do município do Fundão. A captação é realizada na Albufeira de Santa Águeda, localizada no Rio Ocreza.

O processo de tratamento da ETA de Santa Águeda é constituído por duas fases.

A fase líquida inicia-se na captação, esta é constituída por três grupos eletrobomba submersíveis, instalados numa torre de tomada de água composta por três comportas situadas a cotas diferentes da albufeira. De seguida, à entrada da ETA, a água bruta sofre um processo de arejamento através de uma cascata de arejamento (Figura 3.5). Neste processo, a água entra em contacto com o ar atmosférico, ocorrendo a oxidação do ferro e do manganês e libertação de alguns compostos voláteis. De forma a garantir a oxidação da água bruta, a jusante do arejamento, foi implementado um processo de pré-oxidação, através da adição de ozono na água, o que permite oxidar a matéria orgânica, ferro e manganês presentes na água captada e garantir melhores condições de tratamento nas etapas seguintes. A remineralização é efetuada posteriormente à pré-oxidação. Este processo tem como objetivo assegurar o equilíbrio calcocarbónico da água e é realizado através do doseamento de uma suspensão de leite de cal conjugada com a adição de dióxido de carbono. Posteriormente, são realizados os processos de coagulação e floculação. A coagulação antecede a floculação numa câmara de mistura rápida onde é doseado um sal de alumínio. A jusante desta adição é introduzido carvão ativado em pó, promovendo a adsorção e absorção de compostos responsáveis pelo sabor e odor da água, bem como outros tipos de compostos orgânicos que possam existir na água.

Seguidamente, é efetuada a decantação. Este processo permite a separação da fase líquida (água) da fase sólida (lamas), por ação da gravidade. A água clarificada proveniente dos decantadores é reunida em duas caleiras e distribuída por seis filtros de areia gravíticos, onde é efetuada a remoção de partículas mais pequenas e promovida a clarificação final da água. A este processo dá-se o nome de Filtração. Após filtração é efetuada a correção final de pH com água de cal, seguindo-se a etapa de desinfecção com adição de água clorada (mistura de água com cloro gás). Esta etapa permite eliminar microrganismos residuais que ainda possam existir na água e assegurar a desinfecção da água até ao consumidor. A água de cal é preparada nos saturadores (Figura 3.6), e destina-se a promover a correção final de pH (elevação do pH) e a produção de água equilibrada. Por último, a água tratada é armazenada num reservatório com duas células para ser posteriormente enviada para a rede de distribuição.

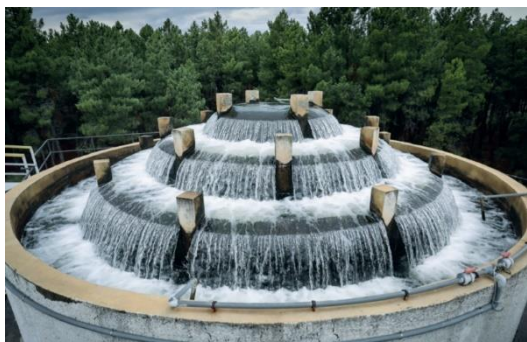


Figura 3.5- Cascata de arejamento, entrada de água bruta, [Fonte:ADP,2020]

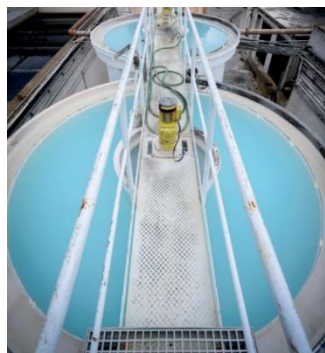


Figura 3.6-Saturadores, produção de água de cal, [Fonte: ADP, 2020]

A fase sólida inicia-se com a etapa de equalização das águas provenientes da lavagem dos filtros e das purgas de lamas dos decantadores. Esta mistura é sujeita a uma etapa de espessamento mecânico, através da elevação a um espessador (DENSEG, patente *Degrémont*), onde é adicionada um polieletrólito para promover a aglutinação e aumento do tamanho dos flocos. A água clarificada do espessamento é recuperada e entra novamente no início do processo de tratamento da linha líquida. As lamas espessadas são enviadas para o tanque de lamas mistas, que recebe também os insolúveis de cal, provenientes das purgas dos saturadores. Esta mistura de lamas é depois sujeita a desidratação mecânica, através de centrifuga. Na etapa de desidratação é utilizado um polieletrólito, de modo a promover a separação da água e a concentração das lamas. As lamas desidratadas são armazenadas em contentores e, posteriormente, são encaminhadas para destino final adequado. No Anexo VII, é apresentado o esquema completo da ETA de Santa Águeda.

4. Materiais e métodos

Para avaliar o desempenho das lamas de ETA no condicionamento de lama, com o objetivo de melhorar as características que conduzem a uma maior eficiência da desidratação, recorreu-se ao ensaio de SRF descrito no ponto 2.4.4. Foram testados dois tipos de lamas de ETA como condicionadores na etapa de desidratação de lamas mistas não digeridas e de lamas mistas digeridas.

Tipos de lama de ETA:

Tipo "A"- Lama de ETA micronizada da Asseiceira (Figura 4.1 e 4.2, a)

Tipo "B"- Lama de ETA micronizada de Santa Águeda (Figura 4.1 e 4.2, b)



Figura 4.1- Lamas de ETA da Asseiceira (a) e de Santa Águeda (b), vista perfil



Figura 4.2- Lamas de ETA da Asseiceira (a) e de Santa Águeda (b), vista superior

Inicialmente, estudou-se o comportamento da desidratação da lama de ETAR condicionada unicamente com os dois tipos de lama de ETA, a fim de descobrir a melhor dosagem, bem como o melhor tipo de lama de ETA no condicionamento de lama de ETAR.

Posteriormente, estudou-se, através do ensaio de SRF, a dosagem ideal de polímero. Para tal, recorreu-se à mistura da lama de ETAR com dois tipos de polímeros.

Na tabela 4.1 encontra-se apresentado o plano experimental.

Tabela 4.1-Plano Experimental

Fase	Descrição
1	<p>Caracterização da lama micronizada de ETA</p> <p>Determinação das características da lama micronizada de ETA. Caracterização de dois tipos de lama em termos de: compostos orgânicos voláteis, metais pesados, análise microbiológica e análise química.</p>
2	<p>Caracterização da lama de ETAR</p> <p>Determinação das características da lama de ETAR: matéria seca, matéria volátil, pH e condutividade.</p>
3	<p>Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento físico.</p> <p>Ensaio de SRF com diferentes dosagens dos tipos de lama micronizada de ETA. Objetivo identificar a dosagem ideal de condicionador físico (lama micronizada).</p>
4	<p>Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico.</p> <p>Ensaio de SRF com diferentes dosagens de condicionador químico para identificar a dose ideal de condicionador químico.</p>

4.1 Campanhas de amostragem

Com o objetivo de estudar a influência de lama micronizada de ETA como condicionador de lama de ETAR, e tendo em conta a possibilidade de alteração das propriedades da lama ao longo do intervalo de tempo de todos os ensaios, foram realizadas quatro campanhas de recolha de lama de ETAR (duas na avaliação do condicionamento da LMND e outras duas na avaliação do condicionamento da LMD). A Tabela 4.2 indica os dias em que foram recolhidas as amostras de lama de ETAR, bem como o volume de lama recolhida em cada campanha de caracterização. As amostras foram recolhidas em dois locais diferentes: a lama não digerida foi recolhida no tanque de lamas mistas (Figura 4.3) e LMD (digestor 1) foi recolhida a montante da desidratação mecânica (Figura 4.4). A recolha das amostras foi uma amostragem pontual. As amostras recolhidas de lama de ETAR foram mantidas a uma temperatura de 10°C, tendo sido armazenadas numa arca frigorífica da marca Liebherr, modelo BGPv 8470 ProfiLine.



Figura 4.3- Local de amostragem da lama mista.



Figura 4.4-Local de amostragem da lama digerida.

Tabela 4.2-Campanhas de amostragem

Campanhas de amostragem				
Fase	Tipo/ natureza da lama	Dia (dia/mês/ano)	Hora (h:min)	Volume recolhido (L)
Fase 3	Lama mista digerida	10/08/2021	09:50	6,5
Fase 3	Lama mista não digerida	20/08/2021	09:40	6,5
Fase 4	Lama mista digerida	02/09/2021	09:30	2,0
Fase 4	Lama mista não digerida	10/09/2021	09:50	2,0

Considerou-se que as propriedades do condicionador (lama micronizada de ETA) não se alteravam no decorrer dos ensaios laboratoriais, tendo sido o condicionador armazenado num local seco e protegido da radiação solar.

4.2 Caracterização da lama micronizada de ETA (Fase 1)

Para economizar recursos, foi utilizada a caracterização da LETA da Asseiceira e de Santa Águeda presente no estudo de Silva (2017). Tendo em conta que não existiram alterações significativas nos processos de tratamento de água e na qualidade da água bruta,

considerou-se, que os valores dos parâmetros analisados por Silva (2017) seriam idênticos. Foram realizadas as seguintes determinações analíticas:

- Compostos voláteis
- Compostos químicos
- Caracterização microbiológica
- Metais pesados

4.3 Caracterização da lama de ETAR (Fase 2)

Posteriormente à recolha das amostras, foram determinados os seguintes parâmetros:

- pH- Anexo IX
- Condutividade elétrica - Anexo X
- Matéria seca- Anexo XI
- Matéria volátil- Anexo XI
- SRF- Anexo XII
- Viscosidade- A viscosidade foi determinada utilizando o equipamento da marca Brookfield, modelo: MVD-20. As amostras foram medidas a uma temperatura entre 20°C a 25°C.

4.4 Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento físico (Fase 3)

Após recolha e caracterização das amostras de lama de ETAR e de lama de ETA, seguiu-se o ensaio de SRF de modo a avaliar a capacidade de desidratação da lama de ETAR com condicionador de lama de ETA. Neste ensaio, foram estudadas as seguintes dosagens (massa de condicionador:massa seca de lama ETAR): 0,05:1; 0,10:1; 0,20:1; 0,30:1; 0,40:1; 0,50:1; 0,75:1; 1,00:1 e 1,50:1. Foi, adicionalmente, realizado um ensaio “branco” (0,00:1).

De modo a homogeneizar a mistura lama/condicionador, recorreu-se ao ensaio *Jartest*. Foram colocados 300ml de lamas de ETAR nos copos e, posteriormente, com base na caracterização realizada na fase anterior, foi adicionada a porção de condicionador (lama de ETA micronizada) correspondente a cada copo.

A mistura inicialmente foi agitada a uma velocidade de 200 r.p.m. durante dois minutos e, nos quinze minutos seguintes a 50 r.p.m. tendo-sido utilizado o equipamento Velp Scientifica : FC6S.

De seguida, determinou-se a concentração de sólidos totais e de sólidos secos de cada mistura, sendo os resultados apresentados nos Anexos XIV e XV.

Por fim, iniciou-se o ensaio SRF (Protocolo no Anexo XIII), o qual terminou após o bolo de lama ter quebrado, o que provocou a redução da pressão do ensaio.

O esquema metodológico encontra-se representado na Figura 4.5.

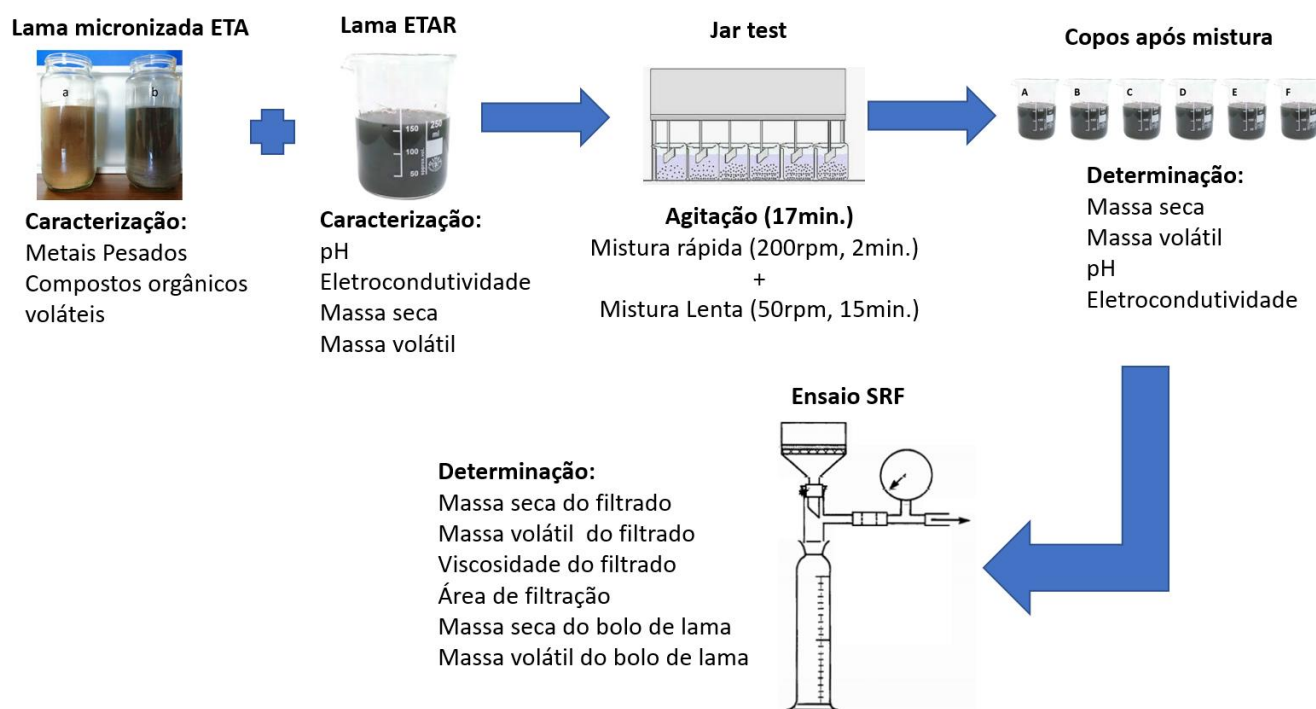


Figura 4.5-Esquema metodológico do ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento físico.

4.5 Ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico (Fase 4)

Para avaliar a capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico, o polímero foi preparado previamente e de seguida foi seguida a metodologia utilizada na avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento físico. O esquema metodológico do ensaio está representado no final do presente subcapítulo, na Figura 4.8.

4.5.1. Preparação do reagente

Para a utilização do polímero no ensaio SRF, foi necessário prepará-lo previamente no laboratório, tendo-se seguido as indicações do fabricante.

Foram utilizados dois tipos de polímero:

- Polímero em emulsão catiónico da marca SNF (Ambifloc® AP300 EM), o qual foi utilizado no estudo da LMND, tendo sido doseado a uma concentração de 2,5g/l.
- Polímero granulado catiónico da marca SNF (Ambifloc® AP 1000 P), que foi utilizado no estudo da LMD e doseado a uma concentração de 2,5g/l.

Modo de preparação do polímero em emulsão (Ambifloc®AP300 EM):

Material necessário:

- Agitador e barra magnéticos
- Copo de 1l
- Seringa plástica

Procedimento:

- 1) Colocar 400ml de água no copo;
- 2) Inserir agitador magnético no copo;
- 3) Ligar agitador, de forma a ser possível verificar visualmente um vórtice;
- 4) Pipetar a emulsão;
- 5) Injetar a emulsão tendo em conta que esta deve ser injetada no centro do vórtice criado pela agitação. A totalidade da quantidade de polímero deve ser adicionada tão rapidamente quanto possível (Figura 4.6, 1). De notar que, após a injeção, o vórtice se fecha devido ao aumento da viscosidade da solução (Figura 4.6, 2). Decorridos 10 minutos, a solução deve apresentar características viscosas, cor esbranquiçada e homogénea, encontrando-se pronta a ser utilizada.



Figura 4.6-Preparação do polímero em emulsão (Ambifloc®AP300 EM), Fonte: SNF

Modo de preparação do polímero sob forma granulado (Ambifloc®AP 1000 P):

Material necessário:

- Agitador e barra magnéticos
- Copo de 1l
- Balança (com uma precisão de 0,001g)
- Espátula
- Vidro de relógio lapidado

Procedimento:

- 1) Colocar 400ml de água no copo;
- 2) Inserir agitador magnético no copo;
- 3) Ligar agitador, de forma a ser possível visualizar um vórtice;
- 4) Pesar 1g de polímero, no vidro de relógio;
- 5) Com a ajuda da espátula, colocar o polímero no centro do vórtice criado pela agitação, devendo este ser adicionado lentamente. O objetivo é a hidratação de cada grão, separadamente, de modo a evitar a aglomeração ((Figura 4.7, 1). Após a adição do polímero, as partículas, à medida que se hidratam, tendem a inchar (ganhar volume), tornando-se translúcidas. O vórtice fecha na sequência do aumento da viscosidade (Figura 4.7, 2). Após 40 minutos de agitação, a solução deve

apresentar uma viscosidade aparente e não deve apresentar partículas de polímero não dissolvidas, encontrando-se pronta a ser utilizada (Figura 4.7, 3).



Figura 4.7-Preparação do polímero sob forma granulada (Ambifloc®AP 1000 P), Fonte:SNF

4.5.2. Ensaio SRF

À semelhança do ensaio com condicionador físico, foram realizados ensaios com condicionamento químico, de forma a estudar a melhor dosagem deste tipo de condicionamento. Foram estudadas as seguintes dosagens de polímero: 0 Kg/ton. matéria seca na lama, 11 Kg/ton. matéria seca na lama, 12 Kg/ton. matéria seca na lama, 13 Kg/ton. matéria seca na lama, 14 Kg/ton. matéria seca na lama e 15 Kg/ton. matéria seca na lama.

Inicialmente, a mistura foi agitada a uma velocidade de 200 r.p.m. por dois minutos e, posteriormente, a 50 r.p.m. por quinze minutos, tendo-se utilizado o equipamento Velp Scientifica : FC6S. Posteriormente, realizou-se o ensaio SRF.

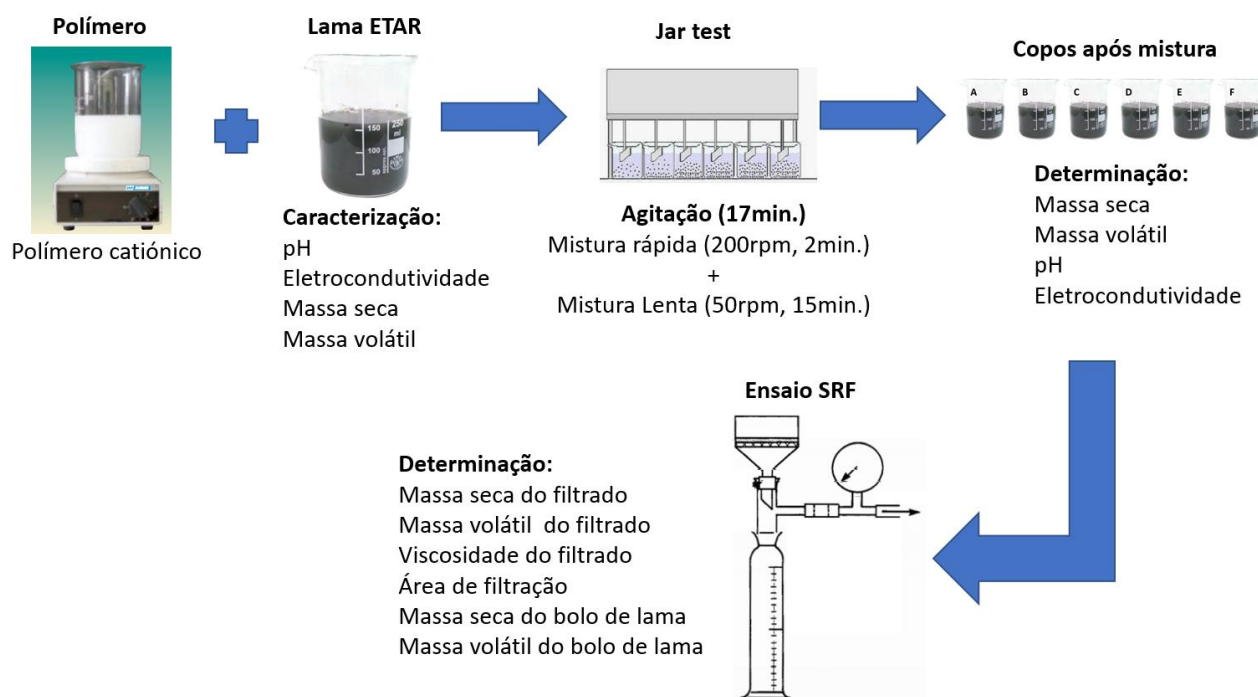


Figura 4.8-Esquema metodológico do ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico.

5. Resultados e Discussão

No presente capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados da caracterização da LETA e da lama de ETAR (digerida e mista), assim como da capacidade de desidratação da LMND e LMD com condicionamento físico e químico.

5.1 Caracterização da lama micronizada de ETA

A caracterização da LETA da Asseiceira, em termos de composição microbiológica, metais pesados, compostos orgânicos voláteis e respetivas análises químicas, encontra-se no Anexo XIII.

A caracterização da LETA de Santa Águeda encontra-se no Anexo XIV.

5.2 Caracterização da lama de ETAR

Na Tabela 5.1, encontram-se apresentados os resultados da caracterização das amostras de LMND e LMD, nas diferentes etapas dos processos. Verificou-se que a LMND apresenta uma concentração superior à da LMD, apresentando esta última uma maior concentração de matéria volátil. Observou-se que a resistência específica de cada uma das lamas (mista e digerida) foi idêntica nos dois dias de recolha de amostra. Constatou-se também que a LMND apresenta um menor valor de SRF, podendo afirmar-se que esta apresenta uma maior capacidade de desidratação.

Tabela 5.1-Caracterização da lama de ETAR

Caracterização	Dia (dia/mês/ano)	pH	Condutividade (mS/cm)	Matéria seca (kg/m ³)	Matéria volátil (kg/m ³)	SRF (m/kg)	Viscosidade (mPa.s)
Lama digerida Fase 3	10/08/2021	7,4	5,81	17,4	5,31	3,19×10 ¹³	60
Lama mista Fase3	20/08/2021	5,6	2,66	23,8	5,05	1,89×10 ¹³	63
Lama digerida Fase 4	02/09/2021	7,6	6,71	19,1	5,15	3,22×10 ¹³	61
Lama mista Fase 4	10/09/2021	5,5	2,56	23,8	5,25	1,91×10 ¹³	59

5.3 Capacidade de desidratação com condicionamento físico

Os resultados da capacidade de desidratação com LETA foram divididos em dois pontos 5.3.1 e 5.3.2, onde são apresentados os resultados do condicionamento da LMD e da LMND da ETAR de Castelo Branco.

5.3.1. Capacidade de desidratação da lama mista digerida com condicionamento físico

Como mencionado no capítulo 5.2., a amostra recolhida de LMD apresentava uma concentração de matéria seca de 17,4 Kg/m³. A massa de condicionador (lama de ETA da Asseiceira e de Santa Águeda) adicionada à LMD é indicada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2-Dosagem de condicionador físico na lama mista digerida

Massa condicionador / Massa seca lama ETAR	Volume de lama (ml)	Sólidos secos lama ETAR (Kg/m ³)	Massa de condicionador (g)
0,05:1	300	17,4	0,26
0,10:1	300	17,4	0,52
0,20:1	300	17,4	1,04
0,30:1	300	17,4	1,57
0,40:1	300	17,4	2,09
0,50:1	300	17,4	2,61
0,75:1	300	17,4	3,92
1,00:1	300	17,4	5,22
1,50:1	300	17,4	7,83

5.3.1.1. Lama da Asseiceira como condicionador físico

Conforme se pode verificar na Figura 5.1, a LMD não condicionada (dosagem 0,00:1) apresentou uma maior taxa de fluxo (volume/tempo), ou seja, no ensaio de SRF, verificou-se que a lama sem condicionador obteve um maior volume de filtrado num menor tempo. Através da Figura 5.1, conclui-se que as menores dosagens (0,00:1; 0,05:1; 0,10:1 e 0,20:1) apresentam uma maior taxa de fluxo comparativamente às restantes dosagens em estudo. Pela Figura 5.1, constata-se um volume máximo filtrado de 64ml a 67,5 ml.

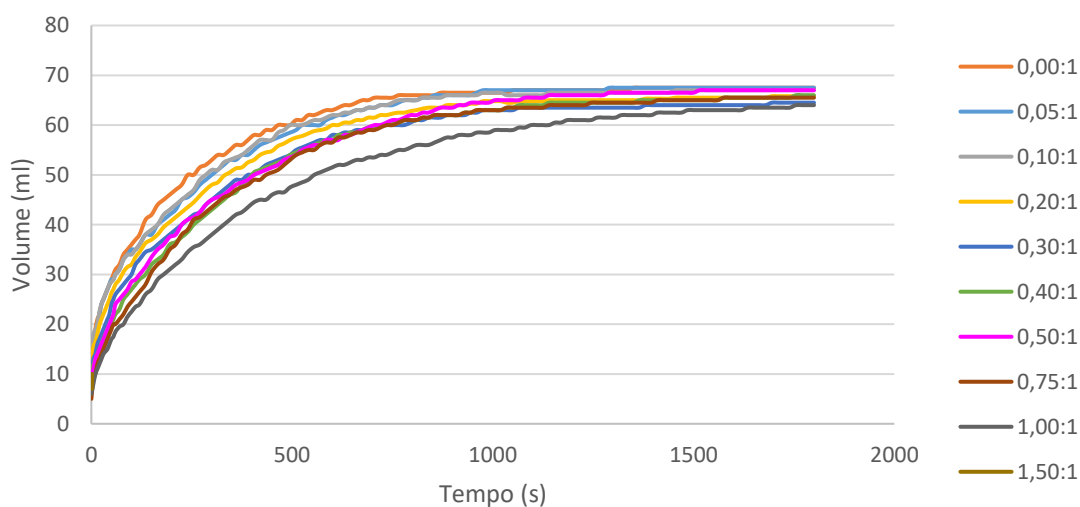


Figura 5.1-Volume vs tempo de filtragem no ensaio do condicionamento de lama digerida com LETA da Asseiceira

5.3.1.2. Lama de Santa Águeda como condicionador físico

À semelhança do condicionamento da LMD com LETA da Asseiceira, verificou-se que as menores dosagens de LETA de Santa Águeda apresentam uma maior taxa de fluxo, sendo que a LMD não condicionada apresentou a maior taxa de fluxo e a dosagem 0,30:1 apresentou a menor taxa de fluxo, como se constata na Figura 5.2. É de salientar que as dosagens 0,05:1 e 0,10:1 obtiveram o maior volume de filtrado, correspondente a 68 ml no final do ensaio.

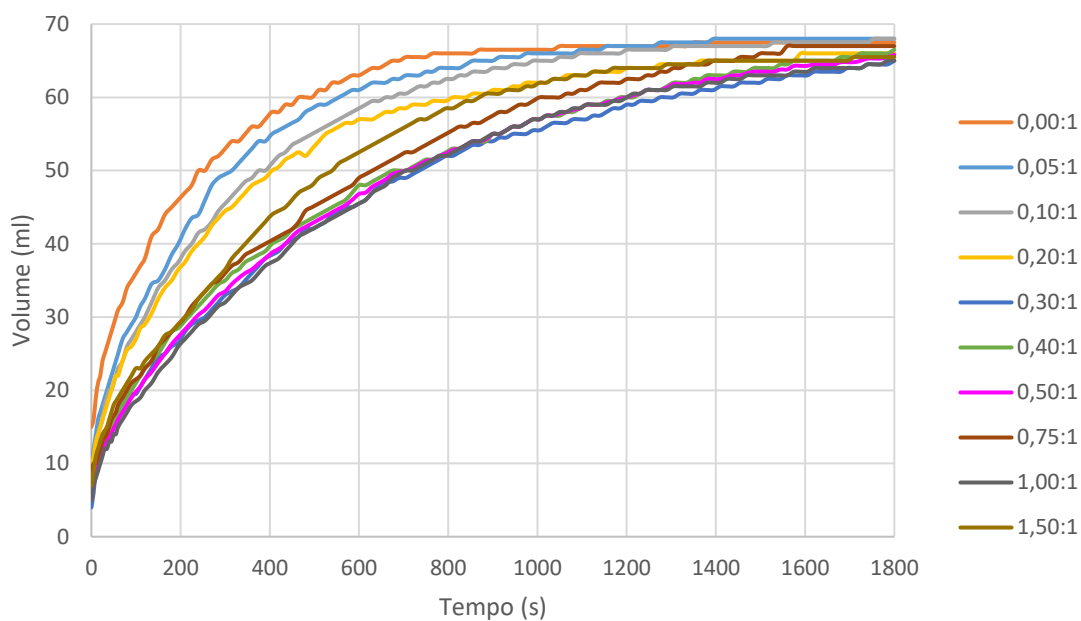


Figura 5.2-Volume vs tempo de filtragem no ensaio do condicionamento de lama digerida com LETA de Santa Águeda

5.3.1.3. Specific Resistance to Filtration com condicionador físico (LETA Asseiceira e de Santa Águeda)

A Figura 5.3 expressa os valores obtidos no ensaio de SRF no condicionamento da LMD (com LETA da Asseiceira e de Santa Águeda). Verifica-se, no caso do condicionamento com LETA de Santa Águeda, que todas as dosagens obtiveram um valor superior de resistência específica à filtração em comparação com o ensaio a branco (sem condicionador), à exceção da dosagem 1,50:1, que obteve um valor de SRF de $3,18 \times 10^{13}$ m/Kg, menos $0,01 \times 10^{13}$ m/Kg em comparação com o ensaio a branco. Considera-se que a redução da resistência específica à filtração em $0,01 \times 10^{13}$ é pouco significativa, pelo que é esperado que não melhore significativamente a eficiência do processo de desidratação. Desta forma, conclui-se que o doseamento de LETA de Santa Águeda não melhora a desidratação, podendo até prejudicar o desempenho da mesma se o doseamento de LETA de Santa Águeda for feito em pequenas quantidades.

No condicionamento com LETA da Asseiceira, verificou-se que o valor de SRF no ensaio a branco foi de $3,19 \times 10^{13}$ m/kg. As dosagens 0,5:1; 0,75:1; 1,5:1 obtiveram valores de $2,68 \times 10^{13}$ m/kg, $3,00 \times 10^{13}$ m/kg e $1,39 \times 10^{13}$ m/kg, respetivamente. Conclui-se, desta forma, que existe uma potencial melhoria no processo de desidratação, visto que estas dosagens apresentam valores mais reduzidos de resistência específica à filtração.

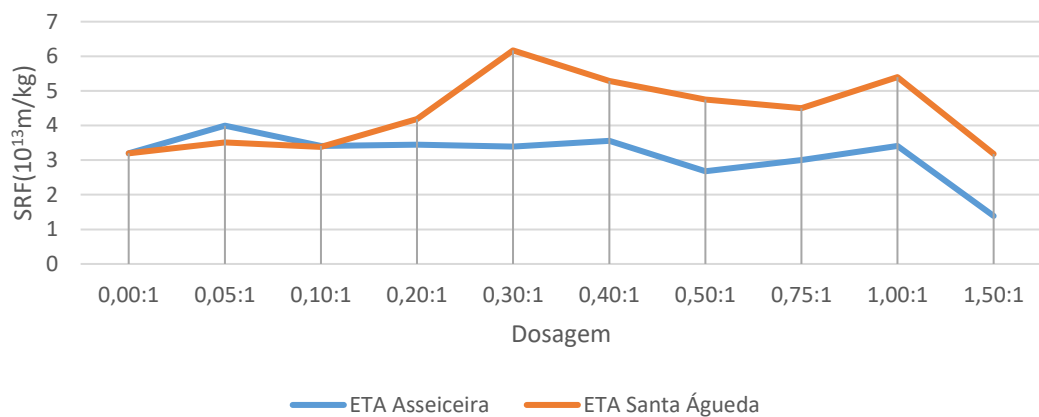


Figura 5.3-Resistência específica à filtração do condicionamento da lama digerida com LETA.

5.3.2. Capacidade de desidratação da lama mista com condicionamento físico

Como mencionado no capítulo 5.2., a amostra recolhida de LMD apresentava uma concentração de 23,7 Kg/m³. A massa de condicionador (Lama de ETA da Asseiceira e de Santa Águeda) adicionada à LMND encontra-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3- Dosagem de condicionador físico na lama mista não digerida

Massa condicionador por Massa seca lama ETAR	Volume de lama (ml)	Sólidos secos lama ETAR (Kg/m ³)	Massa adicionar de condicionador (g)
0,05:1	300	23,7	0,36
0,10:1	300	23,7	0,71
0,20:1	300	23,7	1,43
0,30:1	300	23,7	2,14
0,40:1	300	23,7	2,85
0,50:1	300	23,7	3,56
0,75:1	300	23,7	5,34
1,00:1	300	23,7	7,12
1,50:1	300	23,7	10,69

5.3.2.2 Resultados com a lama da Asseiceira como condicionador físico

Contrariamente aos resultados do condicionamento da LMD, no condicionamento da LMND com a LETA da Asseiceira, verificou-se uma maior taxa de fluxo nas seguintes dosagens: 0,10:1; 0,20:1; 0,30:1 e 1,00:1, sendo que a dosagem 1,00:1 foi aquela onde se verificou a maior taxa de fluxo, como demonstra a Figura 5.4. É de salientar que a dosagem 0,20:1 foi aquela em que se obteve um maior volume de filtrado (70ml). O ensaio a branco (0,00:1) obteve uma taxa de fluxo ligeiramente inferior à do ensaio com a dosagem 0,10:1.

As dosagens 0,40:1; 0,50:1; 0,75:1 e 1,50:1 apresentaram uma menor taxa de fluxo, tendo esta sido inferior à do ensaio a branco e correspondendo também a menores volumes de filtrado.

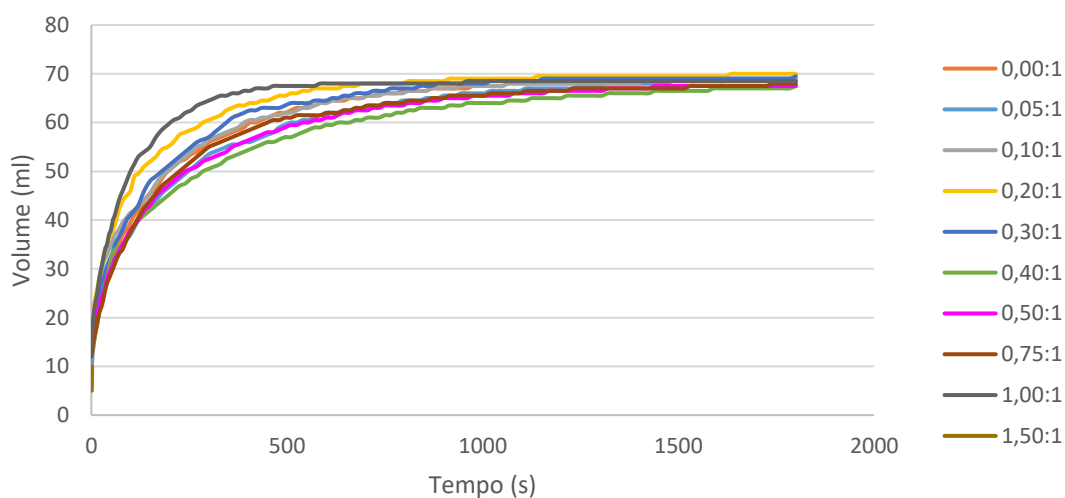


Figura 5.4-Volume vs tempo de filtragem no ensaio do condicionamento de LMND com LETA da Asseiceira.

5.3.2.3 Resultados com a lama de Santa Águeda como condicionador físico

Através da análise da Figura 5.5, conclui-se que a dosagem 0,20:1 obteve uma maior taxa de fluxo, superior ao ensaio a branco (0,00:1). A taxa de fluxo respetivas às dosagens de 0,00:1 (ensaio a branco); 0,05:1; 0,10:1; 0,30:1 0,50:1 e 0,75:1 foram muito semelhantes entre si. A dosagem 0,30:1 foi aquela que obteve um maior volume filtrado de 69 ml. As dosagens 0,40:1; 1,00:1 e 1,50:1 obtiveram uma menor taxa de fluxo, tendo sido necessário esperar um maior intervalo de tempo para recolher o mesmo volume de filtrado face às demais.

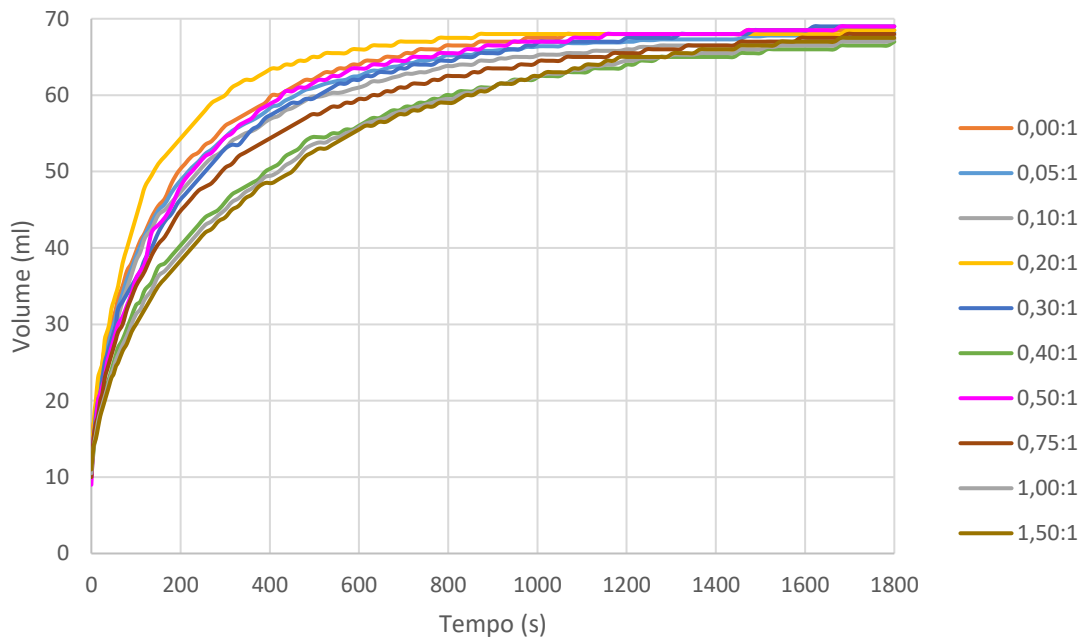


Figura 5.5-Volume vs tempo de filtragem no ensaio do condicionamento de LMND com LETA de Santa Águeda

5.3.2.3. Specific Resistance to Filtration com condicionador físico (lama das ETA Asseiceira e de Santa Águeda)

Através da Figura 5.6, conclui-se que o doseamento de LETA, quer da Asseiceira quer de Santa Águeda, diminui a resistência específica à filtração, uma vez que esta foi sempre inferior à do ensaio a branco ($1,89 \times 10^{13}$ m/kg). Observa-se, na Figura 5.6, que a dosagem ótima de LETA da Asseiceira foi de 1g de LETA para 1g de matéria seca de lama (1,00:1), esta dosagem obteve um valor de SRF de $6,05 \times 10^{12}$ m/kg. Verificou-se uma tendência decrescente da resistência específica à filtração com o aumento da dosagem de LETA da Asseiceira.

A análise da Figura 5.6, permite verificar que o condicionamento da LMND com LETA de Santa Águeda obteve uma tendência decrescente da resistência específica à filtração até à dosagem 0,20:1, onde obteve um valor de SRF de $9,99 \times 10^{12}$ m/kg. Os valores de SRF respeitantes às dosagens superiores a 0,20:1 foram relativamente constantes, estando compreendidos no intervalo $[14,8$ a $15,2] \times 10^{12}$ m/kg.

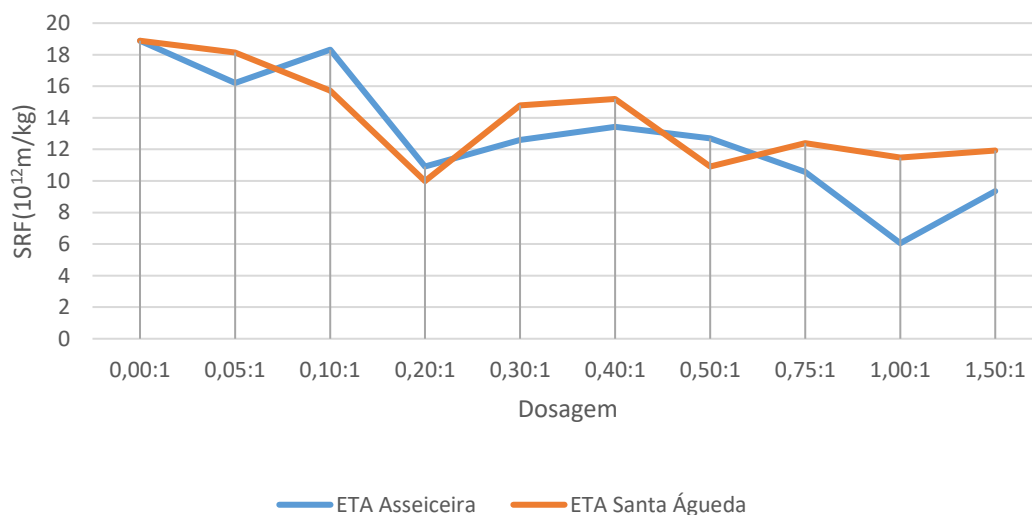


Figura 5.6-Resistência específica à filtração do condicionamento da LMND com LETA.

5.4 Capacidade de desidratação com condicionamento químico

5.4.1. Desidratação da lama mista digerida com Ambifloc®AP 1000 P

Como mencionado no capítulo 5.2., a amostra recolhida de LMD apresentava uma concentração de matéria seca de 19,1 Kg/m³. Como tal, foram pipetados os volumes indicados na Tabela 5.4 da solução de 2,5g/l de polímero Ambifloc®AP 1000 P, previamente preparada. A solução pipetada foi adicionada em cada copo anteriormente perfeito com 300ml de amostra. Na Figura 5.7, é possível visualizar os vários copos após a mistura rápida.

Tabela 5.4- Dosagem de polímero Ambifloc®AP 1000 P na lama mista digerida.

Concentração de polímero na lama (Kg/ton. matéria seca na lama)	Concentração solução mãe (g/l)	Matéria seca na lama (kg/ton.)	Volume de amostra (ml)	Volume de polímero (ml)
0	0,0	19,1	300	0,0
11	2,5	19,1	300	25,2
12	2,5	19,1	300	27,5
13	2,5	19,1	300	29,8
14	2,5	19,1	300	32,1
15	2,5	19,1	300	34,4



Figura 5.7-Ensaio Jar-test no condicionamento da lama mista digerida.

Na Figura 5.8, observa-se o resultado final do ensaio *Jar-test*. Foi possível constatar que, tal como esperado, o copo sem polímero não apresentou, visualmente, nenhuma diferença. No segundo copo (11 Kg/ton. matéria seca de lama) verificou-se a existência de um elevado número de flocos, ainda que de tamanho muito reduzido. O terceiro copo (12 Kg/ton. matéria seca de lama) apresentou um menor número de flocos com dimensão média. Nos copos com as concentrações de polímero de 13 Kg/ton. matéria seca de lama, 14 Kg/ton. matéria seca de lama e 15 Kg/ton. matéria seca de lama, verificou-se uma quantidade reduzida de flocos, contudo os mesmos apresentavam elevadas dimensões.

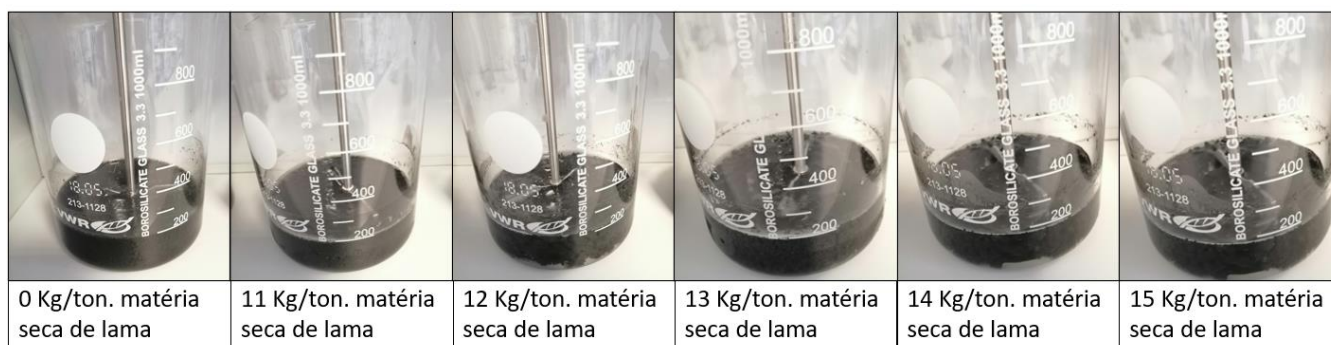


Figura 5.8-Resultados ensaios de Jar-test na lama mista digerida

Não foi possível determinar o SRF, exceto para o primeiro copo (sem condicionamento químico), uma vez que a pressão do ensaio não subia acima de 0,01 bar, e, ao fim de dez segundos, o bolo estava praticamente desidratado, não dando tempo para registar os valores de tempo-volume. Foi experimentado diminuir a área da secção de filtração (tendo-se utilizado um funil de *Büchner* mais reduzido), contudo esta alteração não resultou também.

Para perceber qual a melhor dosagem, foi realizado um ensaio expedito, que consistiu numa filtração por gravidade de 200ml de lama condicionada em que se avaliou o tempo que se demorava a obter um volume de 150ml de filtrado. O tempo demorado para cada copo foi >900s; 30,1s; 17,3s; 15,7s; 15,9s e 15,9s para as concentrações 0 Kg/ton. matéria seca de lama; 11 Kg/ton. matéria seca de lama; 12 Kg/ton. matéria seca de lama; 13 Kg/ton. matéria seca de lama; 14 Kg/ton. matéria seca de lama e 15 Kg/ton. matéria seca de lama respetivamente. Considera-se que a dosagem ótima é a de 13 Kg/ton. matéria seca de lama, uma vez que apresentou o melhor tempo face às restantes concentrações de polímero em estudo. Não foi possível terminar o ensaio sem condicionamento químico (0 Kg/ton. matéria seca de lama) devido à elevada colmatação do meio filtrante. Dando por terminado o ensaio aos 900s, o volume de filtrado no final do mesmo foi de apenas 105ml.

Na Figura 5.9, são visíveis as quatro melhores concentrações de polímero.

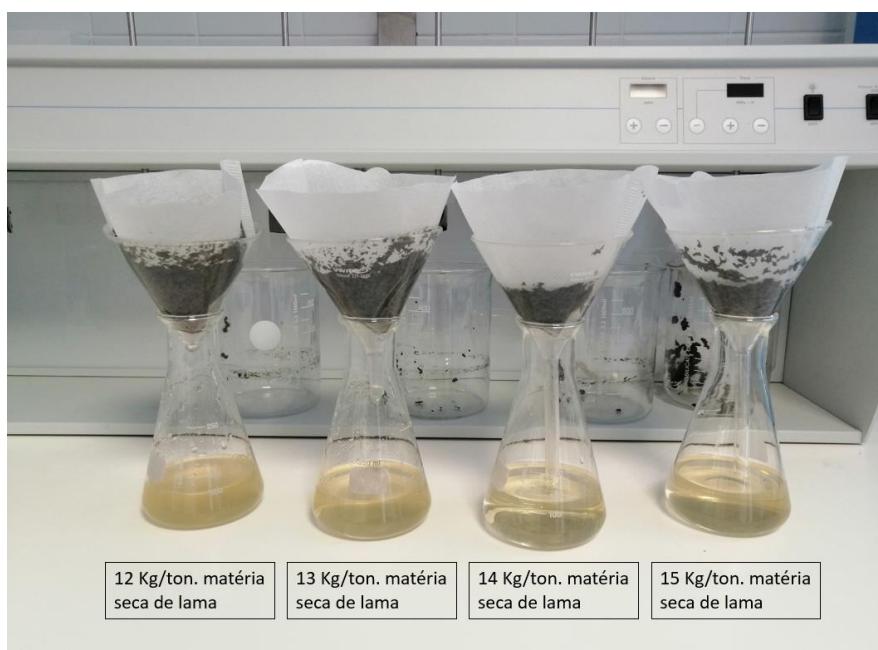


Figura 5.9-Teste de filtração por gravidade da lama digerida condicionada.

De seguida, foram estudadas concentrações mais reduzidas de polímero viabilizando o ensaio de SRF, de forma a possibilitar a comparação entre o efeito do condicionamento químico e o efeito do condicionamento físico. Foram estudadas as seguintes concentrações: 0,5 Kg/ton; 1 Kg/ton; 1,5 Kg/ton; 2 Kg/ton e 10 Kg/ton.

Através da Figura 5.10, conclui-se que o doseamento, em pequenas quantidades, de polímero (0,5Kg/ton; 1,0Kg/ton; 1,5Kg/ton e 2kg/ton) diminui a taxa de fluxo, diminuindo também o volume total do filtrado recolhido no final do ensaio. Como consequência deste facto, foi possível verificar, nas dosagens mais baixas dos ensaios de SRF, que os bolos de lama formados apresentavam uma baixa concentração face ao condicionamento com 10kg/ton e ao ensaio a branco. Verificou-se também que o condicionamento com dosagens mais elevadas (10kg/ton) apresenta uma maior taxa de fluxo.

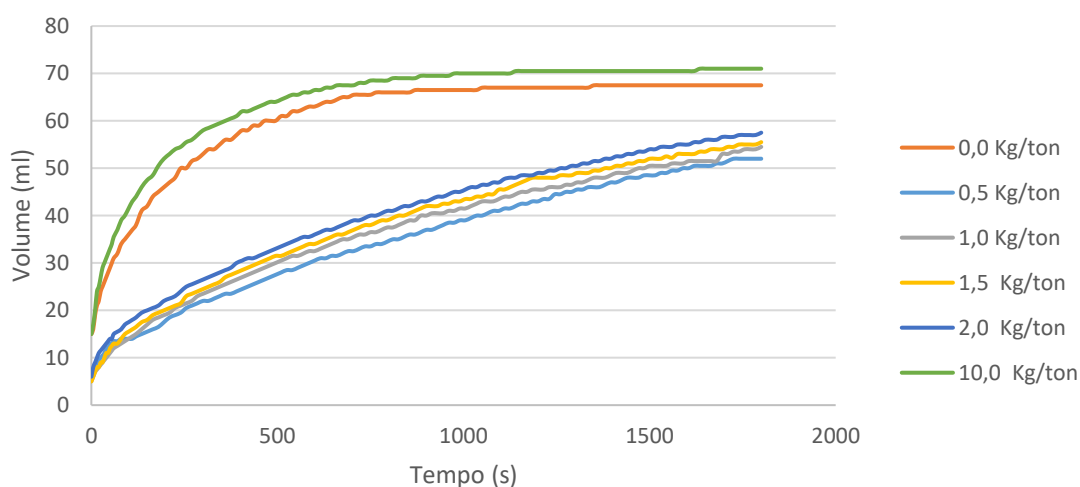


Figura 5.10-Volume vs tempo de filtração no ensaio do condicionamento de lama digerida com polímero.

A análise da Figura 5.11, permite verificar que as dosagens mais baixas de condicionador (0,5Kg/ton; 1,0Kg/ton; 1,5Kg/ton e 2kg/ton) apresentam uma maior resistência específica à filtração face ao ensaio a branco, ou seja, o condicionamento da LMND com dosagens baixas de polímero aumenta a resistência específica à filtração. Em contrapartida, dosagens mais elevadas (>10 kg/ton) apresentam valores mais reduzidos de SRF, pelo que é esperado que estes tornem o processo de desidratação mais eficiente. Os valores de SRF na LMD condicionada com uma dosagem de 10kg/ton foi de $1,48 \times 10^{13}$ m/Kg e de $3,22 \times 10^{13}$ m/Kg no ensaio a branco (sem condicionador).

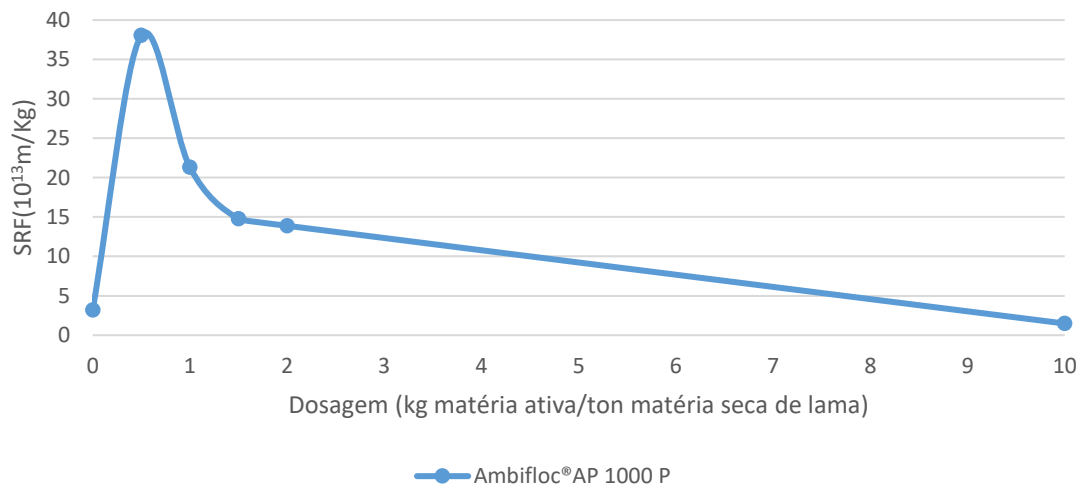


Figura 5.11-Resistência específica à filtração do condicionamento da lama digerida com polímero.

5.4.2. Desidratação da lama mista com Ambifloc®AP300 EM

À semelhança do estudo do condicionamento da LMD com Ambifloc®AP 1000 P (ponto 5.4.1.), foram analisadas as consequências do condicionamento químico da LMND com outro condicionador químico, o Ambifloc®AP300 EM, tendo sido estudadas as seguintes dosagens: 0; 11; 12; 13; 14 e 15 Kg/ton. matéria seca de lama. Uma vez que a concentração da amostra de LMND era de 24,5 Kg/m³, foram pipetados os volumes da emulsão de polímeros indicados na Tabela 5.5. Na Figura 5.12, é possível verificar os vários copos após a mistura rápida.

Tabela 5.5- Dosagem de polímero Ambifloc®AP300 EM na lama mista.

Concentração de polímero na lama (Kg/ton. matéria seca na lama)	Concentração solução mãe (g/l)	Matéria seca na lama (kg/ton)	Polímero a adicionar (mg)	Volume de polímero (ml)
0	0,0	24,5	0,00	00,0
10	2,5	24,5	73,50	29,4
11	2,5	24,5	80,85	32,3
12	2,5	24,5	88,20	35,3
13	2,5	24,5	95,55	38,2
14	2,5	24,5	102,90	41,2
15	2,5	24,5	110,25	44,1

Na Figura 5.12, verifica-se a mistura da lama mista com a respetiva dose de polímero.



Figura 5.12-Ensaio Jar-test no condicionamento da lama mista.

Concluiu-se que, no copo sem polímero, não ocorreu nenhuma mudança (visível) no estado de dispersão da lama. Tal como no primeiro copo, no segundo (11 Kg/ton. matéria seca de lama) não foi visível qualquer alteração. O terceiro copo (12 Kg/ton. matéria seca de lama) apresentou um número médio de flocos com uma dimensão, também ela, média. O quarto copo (13 Kg/ton. matéria seca de lama) apresentou também um número médio de flocos, mas com uma dimensão elevada. Nos copos com as concentrações de polímero de 14 Kg/ton. matéria seca de lama e 15 Kg/ton. matéria seca de lama, verificou-se uma quantidade reduzida de flocos com grande dimensão. Na Figura 5.13 é apresentado os resultados obtidos nos ensaios de *Jar-test* no condicionamento da LMND.

Recorreu-se à metodologia utilizada na avaliação do condicionamento da LMD com Ambifloc®AP 1000 P, dado que não foi possível realizar o ensaio SRF pelos motivos anteriormente mencionados (pressão negativa com valor residual e rápida secagem do bolo de lama).

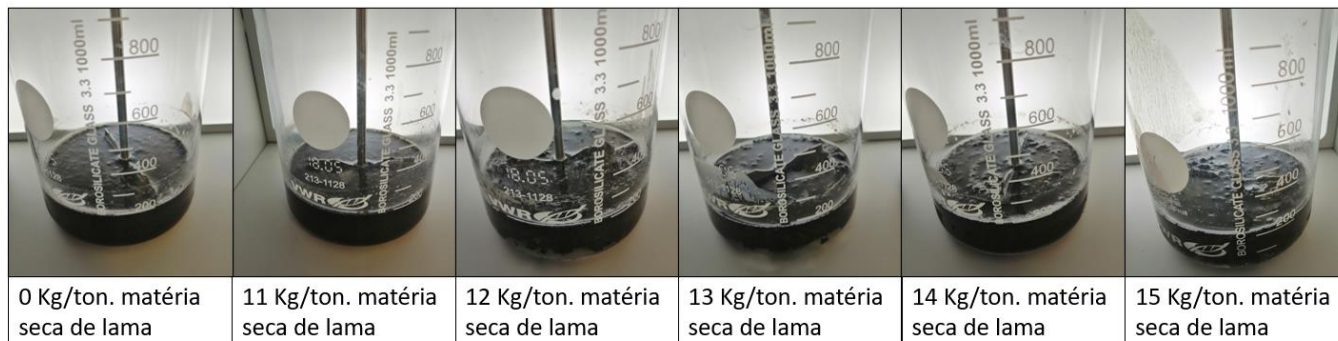


Figura 5.13-Resultados ensaios de Jar-test na lama mista.

As concentrações 0 Kg/ton. matéria seca de lama; 11 Kg/ton. matéria seca de lama; 12 Kg/ton. matéria seca de lama; 13 Kg/ton. matéria seca de lama, 14 Kg/ton. matéria seca de lama e 15 Kg/ton. matéria seca de lama tiveram um tempo total de filtração de, respetivamente, >900s; 16,0s; 15,1s; 15,3s; 15,3s e 15,2s. Considera-se que a dosagem ótima é de 12 Kg/ton. matéria seca de lama, uma vez que apresentou o melhor tempo face às restantes concentrações de polímero em estudo. À semelhança do ensaio com condicionamento da LMD com Ambifloc®AP 1000 P, não foi possível terminar o ensaio sem condicionamento químico (0 Kg/ton. matéria seca de lama) devido à elevada colmatação do meio filtrante. Dando por terminado o ensaio aos 900s, o volume de filtrado no final do mesmo foi de apenas 136ml.

Posteriormente, foram analisadas concentrações mais reduzidas de polímero de forma a possibilitar o ensaio de SRF. Desta maneira é possível a comparação entre os efeitos do condicionamento químico e do condicionamento físico. Foram estudadas as seguintes concentrações: 0,5 Kg/ton; 1 Kg/ton; 1,5 Kg/ton; 2 Kg/ton e 4 Kg/ton.

Através da Figura 5.14, observa-se que as taxas de fluxo mais reduzidas correspondem às dosagens de 0,5 kg/ton; 1 kg/ton e 1,5kg/ton.. Foram também estas aquelas em que houve um menor volume de filtrado recolhido (67ml; 68ml; 68,5ml). Nestas dosagens foi possível verificar a baixa concentração do bolo de lama face às restantes dosagens em estudo.

O ensaio a branco, bem como os ensaios com as dosagens 2kg/ton e 4kg/ton, obtiveram uma variação Tempo/Volume filtrado recolhido idênticos, sendo que o ensaio com a dosagem de 2kg/ton obteve a menor taxa de fluxo, tendo sido no ensaio com 4kg/ton que se registou a maior taxa de fluxo.

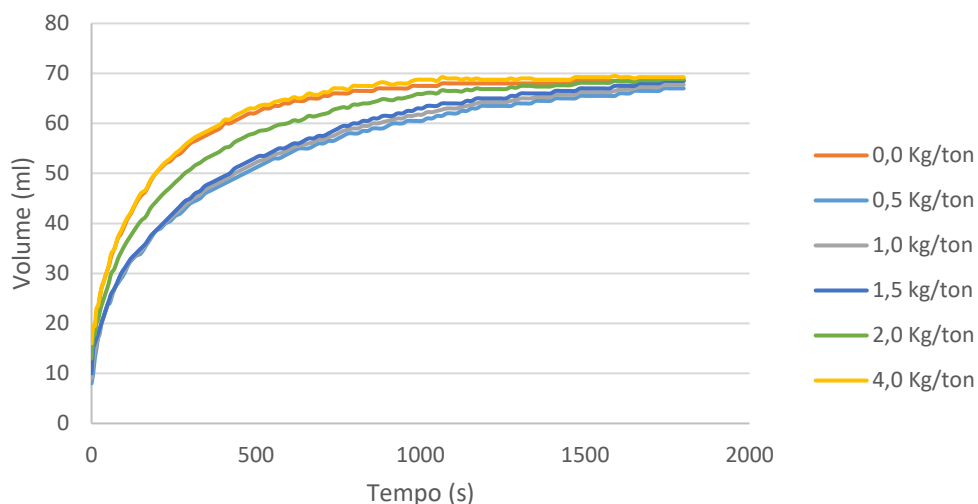


Figura 5.14-Volume vs tempo de filtragem no ensaio do condicionamento de LMND com polímero.

Através da Figura 5.15, constata-se uma subida da resistência específica à filtração nas dosagens mais baixas de condicionador (0,5Kg/ton; 1,0Kg/ton e 1,5Kg/ton). Estas apresentam uma maior resistência específica à filtração face ao ensaio a branco. Verifica-se que, a partir da dosagem de 1,5Kg/ton, existe uma tendência decrescente do SRF, atingindo valores inferiores comparativamente com o ensaio a branco ($1,91 \times 10^{13}$ m/Kg) na dosagem 4kg/ton, onde o valor obtido de resistência específica à filtração foi de $1,77 \times 10^{13}$ m/Kg.

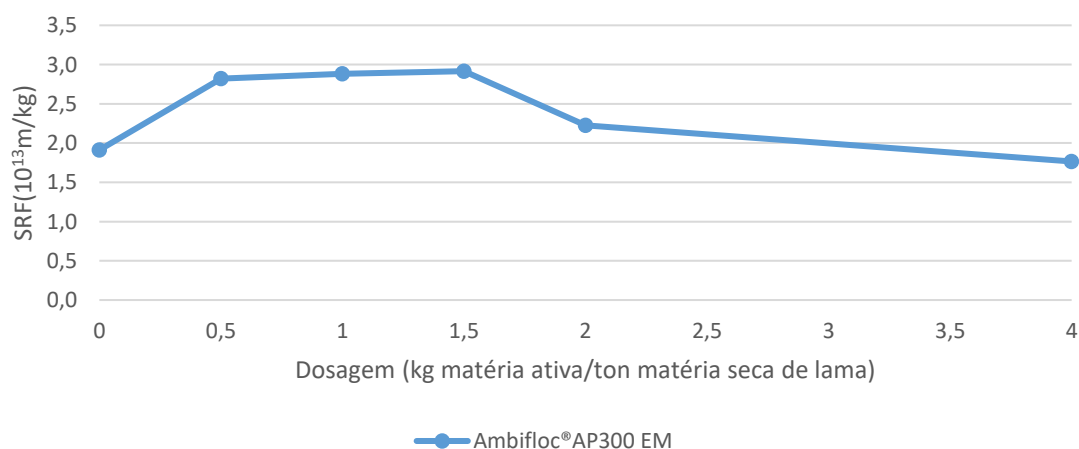


Figura 5.15-Resistência específica à filtração do condicionamento da LMND com polímero.

6. Conclusão

Tendo em conta os ensaios laboratoriais, conclui-se que o condicionamento físico da lama de ETAR mista digerida, com LETA da Asseiceira, com algumas dosagens, reduz, a resistência à filtração, pelo que é esperado que a lama desidrate mais rapidamente e que a lama desidratada obtenha uma concentração superior de matéria seca (maior sidade).

A dosagem que obteve uma menor resistência específica à filtração foi a de 1,50:1, pelo que é esperado que seja esta a dosagem ótima. Contudo, prevê-se que a utilização desta dosagem gere um aumento significativo do volume de lama desidratada, podendo inviabilizar a utilização de dosagens tão elevadas.

É importante salientar que as dosagens 0,50:1 e 0,75:1 obtiveram também valores inferiores de SRF (face ao ensaio a branco), pelo que é esperado que estas dosagens melhorem o processo de desidratação, podendo ser utilizadas como condicionadores da LMD.

Verificou-se que o condicionamento da LMD com LETA de Santa Águeda aumenta a resistência específica à filtração, pelo que é espectável que o condicionamento com este tipo de LETA seja prejudicial ao processo de desidratação, diminuindo a velocidade de desidratação e reduzindo a concentração da lama desidratada.

A dosagem 1,50:1 foi a única em que se registou um valor menor de SRF ($3,18 \times 10^{13}$ m/Kg) face ao ensaio a branco e se obteve menos $0,01 \times 10^{13}$ m/Kg face ao ensaio sem condicionamento (ensaio a branco). Considera-se que a redução da resistência específica à filtração em $0,01 \times 10^{13}$ é pouco significativa, pelo que é esperado que não melhore significativamente a eficiência do processo de desidratação. Como referido anteriormente, é importante salientar que dosagens elevadas geram o aumento significativo do volume de lama desidratada, pelo que devem ser evitadas.

Como esperado, através da comparação entre os dois tipos de lama de ETAR (mista e digerida), verificou-se que a LMND apresenta uma menor resistência específica à filtração, sendo também esperado que desidrate mais facilmente. A LMND sem condicionamento obteve um valor de SRF de $1,9 \times 10^{13}$ m/kg e a LMD apresentou um valor de $3,18 \times 10^{13}$ m/Kg. É importante realçar que a LMND não apresenta nenhuma etapa de estabilização, pelo que pode gerar maus cheiros e, eventualmente, estas lamas podem conter um maior número de organismos patogénicos.

Verificou-se que a utilização da LETA (Asseiceira e Santa Águeda) no condicionamento da LMND reduz a resistência específica à filtração. A mistura (LETA/lama) que apresentou um valor mais reduzido de SRF foi a mistura condicionada com LETA de Asseiceira na dosagem 1,00:1. Contudo, esta dosagem pode aumentar consideravelmente o volume de lama desidratada, pelo que a dosagem 0,20:1 pode tornar-se mais interessante, uma vez que o valor de SRF (na LETA da Asseiceira e na Santa Águeda) apresentou um valor reduzido sendo esperado que não aumente significativamente o volume de lama desidratada.

Concluiu-se que a utilização de polímero melhora substancialmente a desidratação. No caso da desidratação da LMD com o polímero Ambifloc®AP 1000 P, constatou-se que a dosagem ótima é de 13Kg/ton matéria seca de lama e que a dosagem ótima de polímero Ambifloc®AP300 EM no condicionamento da LMND é de 12 Kg/ton. matéria seca de lama, contudo não foi possível realizar o ensaio SRF, uma vez que a pressão negativa atingida foi inferior a 0,1 Bar e a rápida secagem do bolo de lama não permitiu o registo dos dados Tempo/volume. Concluiu-se

que dosagens pequenas de polímero (<4Kg/ton, no caso da LMND, e <10kg/ton na LMD) prejudicam a desidratação.

Em suma, foi possível concluir que a utilização de LETA pode beneficiar a desidratação, podendo, desta forma, ser utilizada como condicionador de lama de ETAR. Concluiu-se que os resultados do condicionamento com LETA foram melhores no condicionamento da LMDN.

A utilização deste condicionador permite reduzir o desperdício e contribuir para uma economia circular. Todavia será necessário avaliar, numa fase posterior, os gastos de energia na homogeneização lama de ETAR com LETA, transporte de LETA, desidratação de LETA, como será também necessário avaliar o aumento do volume da lama desidratada.

7. Considerações finais

Para a realização de ensaios futuros, deverá ser considerada a realização de um maior número de ensaios, com diferentes dosagens e um número superior de repetições, de forma a dar robustez aos resultados obtidos. O ensaio de CST deverá ser realizado juntamente com o ensaio SRF, de forma a ser possível garantir um resultado com um maior nível de certeza.

Será proveitosa a avaliação da introdução de LETA noutros tipos de lamas de ETAR (de ETAR urbanas de outras localizações ou de ETAR industriais).

Em próximos estudos, poderá também ser estudado o efeito conjunto do condicionamento químico e físico (com LETA), como esquematizado na Figura 7.1. Poderá ainda ser estudado o condicionamento conjunto em função de diferentes tipos/proveniências de LETA.

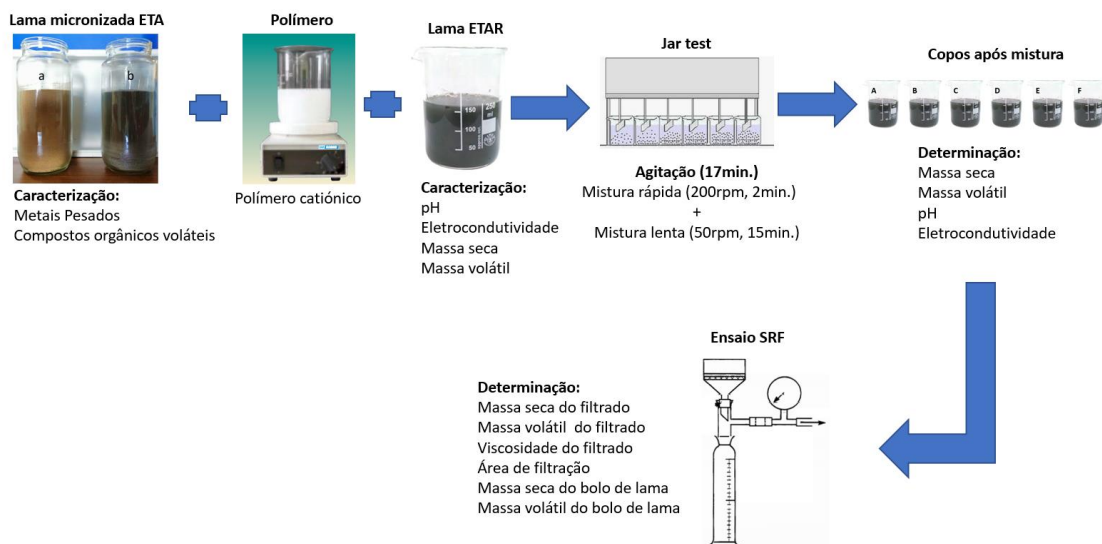


Figura 7.1-Esquema metodológico do ensaio de avaliação da capacidade de desidratação da lama através do condicionamento químico e físico.

É de salientar que, na presente dissertação, foram apenas realizados ensaios à escala laboratorial, sugerindo-se que, em futuros trabalhos, se possa aplicar a uma escala piloto.

8. Referências Bibliográficas

- ADP. (2019). ETA da Asseiceira, Tomar. AdP.
<http://www.adpinternacional.com/pt/?id=61&img=79&bl=11>
- ADP. (2020). ETA de Santa Águeda. AdP.
http://advt.pt/files/7815/6268/1704/ETA_Santa_gueda.pdf
- ADP. (2021). ETAR de Castelo Branco. AdP.
https://issuu.com/epal.lisboa/docs/folheto_etar_castelo_branco_2021
- Alves, C. (2010). Tratamento de Águas de Abastecimento (3a Edição). Publindústria.
- Amin, P. (2014). Primary Sludge Addition for Enhanced Biosludge Dewatering.
<https://core.ac.uk/display/292907050>
- Bien, J., & Wolny, L. (1997). Changes of some sewage sludge parameters prepared with an ultrasonic field. *Water Science and Technology*, 36(11), 101–106.
[https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00675-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00675-6)
- Buyukkamaci, N. (2004). Biological sludge conditioning by Fenton's reagent. *Process Biochemistry*, 39(11), 1503–1506. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00294-2](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00294-2)
- Cao, B., Zhang, W., Wang, Q., Huang, Y., Meng, C., & Wang, D. (2016). Wastewater sludge dewaterability enhancement using hydroxyl aluminum conditioning: Role of aluminum speciation. *Water Research*, 105, 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.016>
- Chen, W., Zheng, H., Guan, Q., Teng, H., Zhao, C., & Zhao, C. (2016). Fabricating a Flocculant with Controllable Cationic Microblock Structure: Characterization and Sludge Conditioning Behavior Evaluation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(10), 2892–2902.
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04207>
- Christensen, G. L. (1983). Units for Specific Resistance. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 55(4), 417–419.
- Christensen, M. L., Keiding, K., Nielsen, P. H., & Jørgensen, M. K. (2015). Dewatering in biological wastewater treatment: A review. *Water Research*, 82, 14–24.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.019>
- Eddy, I. M. & Tchobanoglous, G., Stensel, H., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th edition). McGraw-Hill Education.
- EPA. (1987). Sludges Design Manual: Dewatering Municipal Wastewater. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development.
- Gray, N. (2015). Capillary suction time (CST). *Em Progress in Filtration and Separation* (pp. 659–670). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384746-1.00017-3>
- Heukelekian, H., & Weisberg, E. (1956). Bound Water and Activated Sludge Bulking. *Sewage and Industrial Wastes*, 28(4), 558–574.
- Hogan, F., Mormede, S., Clark, P., & Crane, M. (2004). Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion. *Water Science and Technology*, 50(9), 25–32.
<https://doi.org/10.2166/wst.2004.0526>

- Jing, S. R., Lin, Y. F., Lin, Y. M., Hsu, C. S., Huang, C. S., & Lee, D. Y. (1999). Evaluation of effective conditioners for enhancing sludge dewatering and subsequent detachment from filter cloth. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 34(7), 1517–1531. <https://doi.org/10.1080/10934529909376909>
- Karr, P. R., & Keinath, T. M. (1978). Influence of Particle Size on Sludge Dewaterability. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 50(8), 1911–1930.
- Kowalczyk, M., Tuchońka-Sroka, A., & Kamizela, T. (2018). Changes in Sewage Sludge Filtration Efficiency under Variable Conditioning Factors. *Engineering and Protection of Environment*, 21, 303–314. <https://doi.org/10.17512/ios.2018.3.8>
- Lee, D. Y., Jing, S. R., & Lin, Y. F. (2001). Using seafood waste as sludge conditioners. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 44(10), 301–307.
- Li, H., Jin, Y., Mahar, R., Wang, Z., & Nie, Y. (2008). Effects and model of alkaline waste activated sludge treatment. *Bioresource Technology*, 99(11), 5140–5144. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.019>
- Li, H., Jin, Y., & Nie, Y. (2009). Application of alkaline treatment for sludge decrement and humic acid recovery. *Bioresource Technology*, 100(24), 6278–6283. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.022>
- Lü, F., Wang, J., Shao, L., & He, P. (2016). Enzyme disintegration with spatial resolution reveals different distributions of sludge extracellular polymer substances. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0444-y>
- Mahmoud, A., Hoadley, A. F. A., Citeau, M., Sorbet, J. M., Olivier, G., Vaxelaire, J., & Olivier, J. (2018). A comparative study of electro-dewatering process performance for activated and digested wastewater sludge. *Water Research*, 129, 66–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.063>
- Negulescu, M. (1985). *Municipal Waste Water Treatment (Vol. 23)*. Elsevier Science.
- Nelson, R. F., & Brattlof, B. D. (1979). Sludge Pressure Filtration with Fly Ash Addition. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 51(5), 1024–1031.
- Nielsen, P. H., Saunders, A. M., Hansen, A. A., Larsen, P., & Nielsen, J. L. (2012). Microbial communities involved in enhanced biological phosphorus removal from wastewater—A model system in environmental biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(3), 452–459. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.11.027>
- Niu, M., Zhang, W., Wang, D., Chen, Y., & Chen, R. (2013). Correlation of physicochemical properties and sludge dewaterability under chemical conditioning using inorganic coagulants. *Bioresource Technology*, 144, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.126>
- Olböter, L., & Vogelpohl, A. (1993). Influence of Particle Size Distribution on the Dewatering of Organic Sludges. *Water Science and Technology*, 28(1), 149–157. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0037>
- Qi, Y., Thapa, K. B., & Hoadley, A. F. A. (2011a). Benefit of lignite as a filter aid for dewatering of digested sewage sludge demonstrated in pilot scale trials. *Chemical Engineering Journal*, 166(2), 504–510. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.003>

- Qi, Y., Thapa, K. B., & Hoadley, A. F. A. (2011b). Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties – A review. *Chemical Engineering Journal*, 171(2), 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.04.060>
- Santos, M. A. F., & Junior, L. M. (2021). Random diffusivity models for scaled Brownian motion. *Chaos, Solitons & Fractals*, 144, 110634. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110634>
- Sheng, G.-P. (2006). Stability of sludge flocs under shear conditions: Roles of extracellular polymeric substances (EPS). *Biotechnology And Bioengineering*, 93, 1095–1102.
- Silva, D. C. M. (2017). Valorização de lamas de ETA na operação de decantação assistida em ETAR. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- SNF. (2003). *Sludge Dewatering*. Gutenberg Online Regions. <https://us.snf.com/wp-content/uploads/2014/08/Sludge-Dewatering-E.pdf>
- Turchiuli, C., & Fargues, C. (2004). Influence of structural properties of alum and ferric flocs on sludge dewaterability. *Chemical Engineering Journal*, 103(1), 123–131. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2004.05.013>
- Vaxelaire, J., & Cézac, P. (2004). Moisture distribution in activated sludges: A review. *Water Research*, 38(9), 2215–2230. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.02.021>
- Wu, B., Dai, X., & Chai, X. (2020). Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water Research*, 180, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115912>
- Wu, B., Zhou, K., He, Y., Chai, X., & Dai, X. (2019). Unraveling the water states of waste-activated sludge through transverse spin-spin relaxation time of low-field NMR. *Water Research*, 155, 266–274. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.031>
- Yang, W., Tu, Z., Li, Q., Kaltashov, I. A., & McClements, D. J. (2021). Utilization of sonication-glycation to improve the functional properties of ovalbumin: A high-resolution mass spectrometry study. *Food Hydrocolloids*, 119, 106822. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106822>
- Yu, Q., Lei, H., Yu, G., Feng, X., Li, Z., & Wu, Z. (2009). Influence of microwave irradiation on sludge dewaterability. *Chemical Engineering Journal*, 155(1), 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.07.010>
- Zall, J., Galil, N., & Rehman, M. (1987). Skeleton Builders for Conditioning Oily Sludge. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 59(7), 699–706.
- ZERO. (2018, Outubro 26). Dados da Agência Portuguesa do Ambiente confirmam gestão ilegal de 50% das lamas de ETAR domésticas. ZERO. <https://zero.org/dados-da-agencia-portuguesa-do-ambiente-confirmam-gestao-ilegal-de-50-das-lamas-de-etar-domesticas/>
- Zhang, X., Kang, H., Zhang, Q., Hao, X., Han, X., Zhang, W., & Jiao, T. (2019). The porous structure effects of skeleton builders in sustainable sludge dewatering process. *Journal of Environmental Management*, 230, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.049>
- Zhao, Y. Q., & Bache, D. H. (2001). Conditioning of alum sludge with polymer and gypsum. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 194(1), 213–220. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)00788-9](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)00788-9)

ANEXOS

Anexo I- Tabela síntese métodos de condicionamento Fonte: (Wu et al., 2020)

	Método	Princípio do método	Tecnologia requerida	Dosagem de reagentes	Energia consumida	Riscos secundários para o meio ambiente
Condicionamento físico	Material poroso "Construtores de esqueleto"	Maior resistência à compressibilidade, maior permeabilidade	Agitação	30% a 50% da massa seca	Pouco significativo	Aumento do volume de lama desidratada
	Elevação da temperatura	Desintegração dos coloides dos bioflocos, rotura celular com libertação de água intracelular	Equipamento especializado, capaz de aumentar a temperatura e a pressão da lama	Não aplicável	1000 a 10000KJ/kg de água removida	Não aplicável
	Congelação	Desintegração dos coloides dos bioflocos, formação de cristais homogêneos	Equipamento especializado, mais utilizado em regiões frias	Não aplicável	1000 a 10000KJ/kg de água removida	Não aplicável
	Sonicação	Desintegração dos coloides dos bioflocos, rotura celular com libertação de água intracelular	Equipamento especializado	Não aplicável	600 a 800 KJ/Kg de matéria seca de lama	Não aplicável
	Tratamento elétrico	Diferencial de potencial aplicado na lama gera a lise celular, promovendo a libertação de água	Equipamento especializado	Não aplicável	180 a 360 Kg/Kg de água removida	Não aplicável
Condicionamento químico	Coagulação/floculação	Agregação de partículas	Agitação	0,1% a 5% da massa seca	Pouco significativo	Corrosão, resíduos de cloro, compostos tóxicos de monómeros de polieletrólito.
	Reações Ácido/Base	Regulação de cargas superficiais, rutura celular com libertação de água intracelular	Equipamento com proteção contra a corrosão	5% a 10 % da massa seca	Pouco significativo	Corrosão e toxicidade biológica
	Tratamento avançado de oxidação	Rotura celular promovendo a libertação de água	Dosagens múltiplas, pH controlado	20 a 50% da massa seca	Pouco significativo	Corrosão, resíduos de cloro
	Tratamento enzimático	Desintegração de SPE	Temperatura e pH controlados	1% a 5% da massa seca	Pouco significativo	Não aplicável

Anexo II- Diferentes tipos e doses de condicionamento de lama. Resistência específica à filtração em função do condicionador e tipo/fonte de lama

Tipo de lama/fonte	Condicionador físico	Dose (massa sólida: massa de lama)	Condicionador químico	SFR ((m×10 ¹²)/kg)		Referencia
				Sem condicionamento físico	Com condicionamento físico	
ETA lama alumínica	Gesso (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	0,6:1	polímero aniônico	20,3	18,2	(Zhao & Bache, 2001)
Lama mista (33% lama primária e 67% lama mista)	cinza	0,5:1	Cal e Cloreto férrico	45	19	(Nelson & Brattlof, 1979)
Lama espessada do tratamento de água da cervejaria (Cheng Kung Brewery)	Trigo	0,68:1	Cloreto férrico e cloreto de alumínio	0,512	0,121	(Lee et al., 2001)
Lama espessada do tratamento de água da cervejaria (Cheng Kung Brewery)	Oso de lula	0,62:1	Cloreto férrico e cloreto de alumínio	2,18	0,592	(Lee et al., 2001)
Lama aeróbica digerida no tratamento de água da cervejaria (Cheng Kung Brewery)	Lã de ovelha	0,8:1	Sem condicionamento químico	120	75	(Jing et al., 1999)
Lama aeróbica digerida no tratamento de água da cervejaria (Cheng Kung Brewery)	Trigo	0,25:1	Sem condicionamento químico	120	83	(Jing et al., 1999)
Lama Fermentada da ETAR em Częstochowa na Polónia	Cimento	0,29:1	Polímero Cateonico	19,8	19	(Kowalczyk et al., 2018)
Lama Fermentada da ETAR em Częstochowa na Polónia	cinza	0,58:1	Polímero Cateonico	11,7	21	(Kowalczyk et al., 2018)

Anexo III-Licença de descarga ETAR Castelo Branco



- 13ª Durante o período de validade deste título deverão proceder à entrega do regulamento de descarga de águas residuais industriais assim como, da lista de unidades industriais ligadas à rede (caso aplicável).
- 14ª Será concedido um período de adaptação de um ano a contar da data de emissão desta licença para o cumprimento dos novos limites, distinguindo-se período húmido e de estiagem, tendo sido reduzidos os VLE dos parâmetros CBO5, P total e NH4 que constituem parâmetros críticos da massa de água onde o efluente é descarregado.
- 15ª O parâmetro Óleos e Gorduras não constitui atualmente requisito de descarga, no entanto, deve ser monitorizado.
- 16ª No prazo máximo de 30 dias após a data de atribuição do presente título, deverá ser apresentada uma apólice de seguro ou prestada uma caução no valor de 43750 € a favor da entidade Licenciadora, para recuperação ambiental, de acordo e nos termos previstos no número 2 do artigo 49º e alínea A) do Anexo I do Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio, que garanta o pagamento de indemnizações por eventuais danos causados por erros ou omissões do projeto relativamente à drenagem e tratamento de efluentes ou pelo incumprimento das disposições legais e regulamentares a ele aplicáveis (minutas disponíveis no sítio da Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. na internet em www.apambiente.pt – Instrumentos > Licenciamento das utilizações dos recursos hídricos > Formulários).

Anexos

Localização e caracterização da obra

Condições de descarga das águas residuais em condições normais de funcionamento

As condições de descarga do efluente final, de acordo com o disposto na legislação aplicável, a respeitar pelo titular da licença são as seguintes.

Observações

Período húmido: 1 de novembro a 30 de Abril.

Período de estiagem: 1 de maio a 31 de Outubro.

Quando o parâmetro não especifica o período de análise, húmido ou estiagem, deverá ser considerado o VLE indicado para ambos os períodos.

Deverá ser efetuado autocontrolo em contínuo na saída da ETAR para os parâmetros: pH, TOC, Temperatura, Condutividade e Caudal.

Parâmetro	VLE	Legislação aplicável
Carência Bioquímica de Oxigénio (mg/L O2)	20	(c)
Carência Química de Oxigénio (período de estiagem) (mg/L O2)	100	(c)
Sólidos Suspensos Totais (período de estiagem) (mg/L)	28	(c)
Azoto total (período de estiagem) (mg/L N)	12	(c)
Carência Química de Oxigénio (período húmido) (mg/L O2)	125	(c)
Sólidos Suspensos Totais (período húmido) (mg/L)	35	(b)
Azoto total (período húmido) (mg/L N)	15	(b)
pH (Escala de Sørensen)	6-9	(a)
Azoto amoniacal (mg/L NH4)	10	(a)
Fósforo total (mg/L P)	1.6	(c)

Legislação

(a) Anexo XVIII do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto (b) Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho (c) Abordagem combinada conforme descrita no art. 53º da Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro.

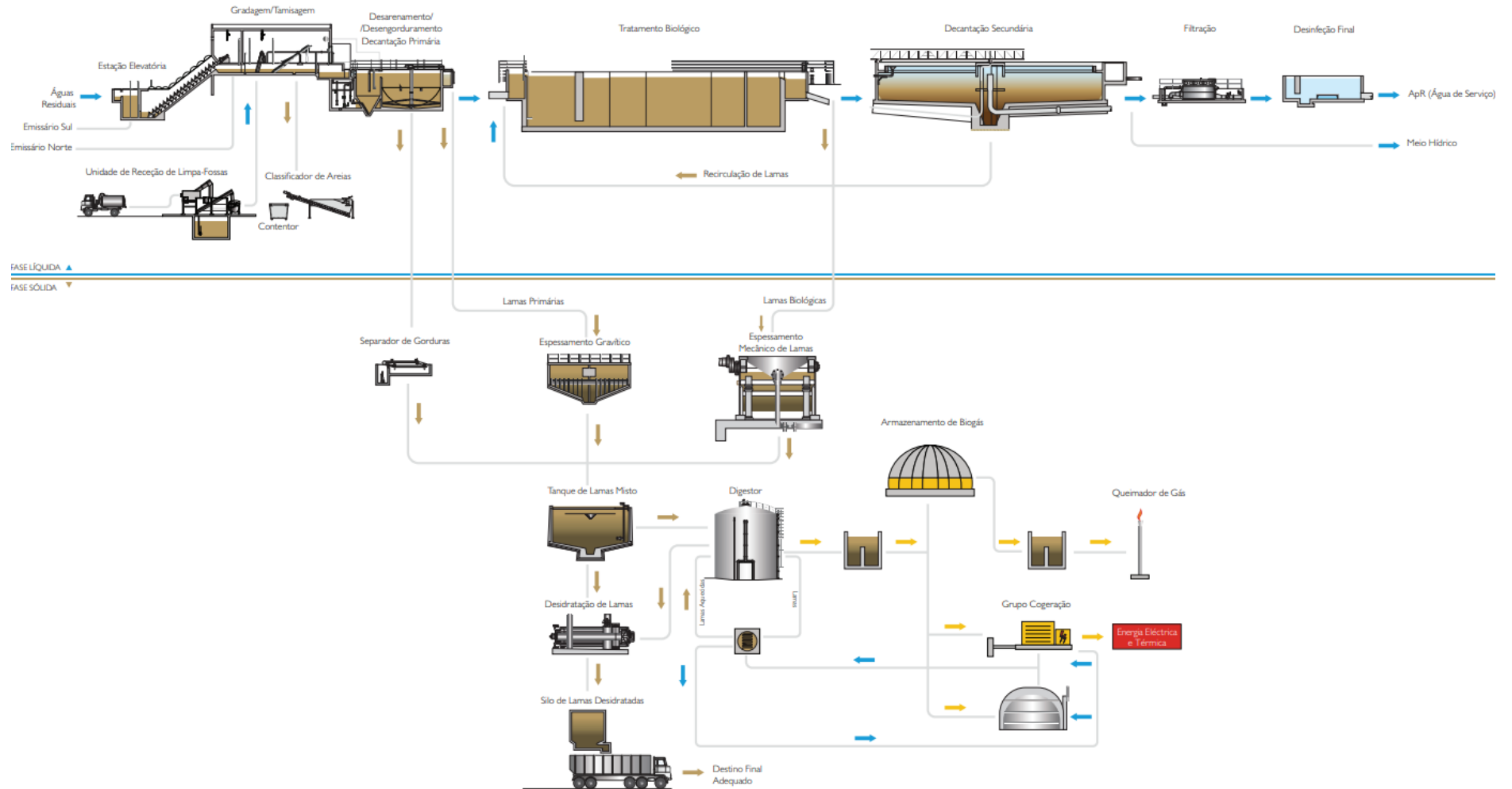
Avaliação de conformidade (descrição dos critérios de avaliação)

De acordo com o Anexo I do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.os 348/98, de 9 de novembro, 149/2004, de 22 de junho e 198/2008, de 8 de outubro. Verificação do n.º mínimo anual de amostras e verificação do n.º máximo de amostras não conformes e verificação do desvio aos valores paramétricos.

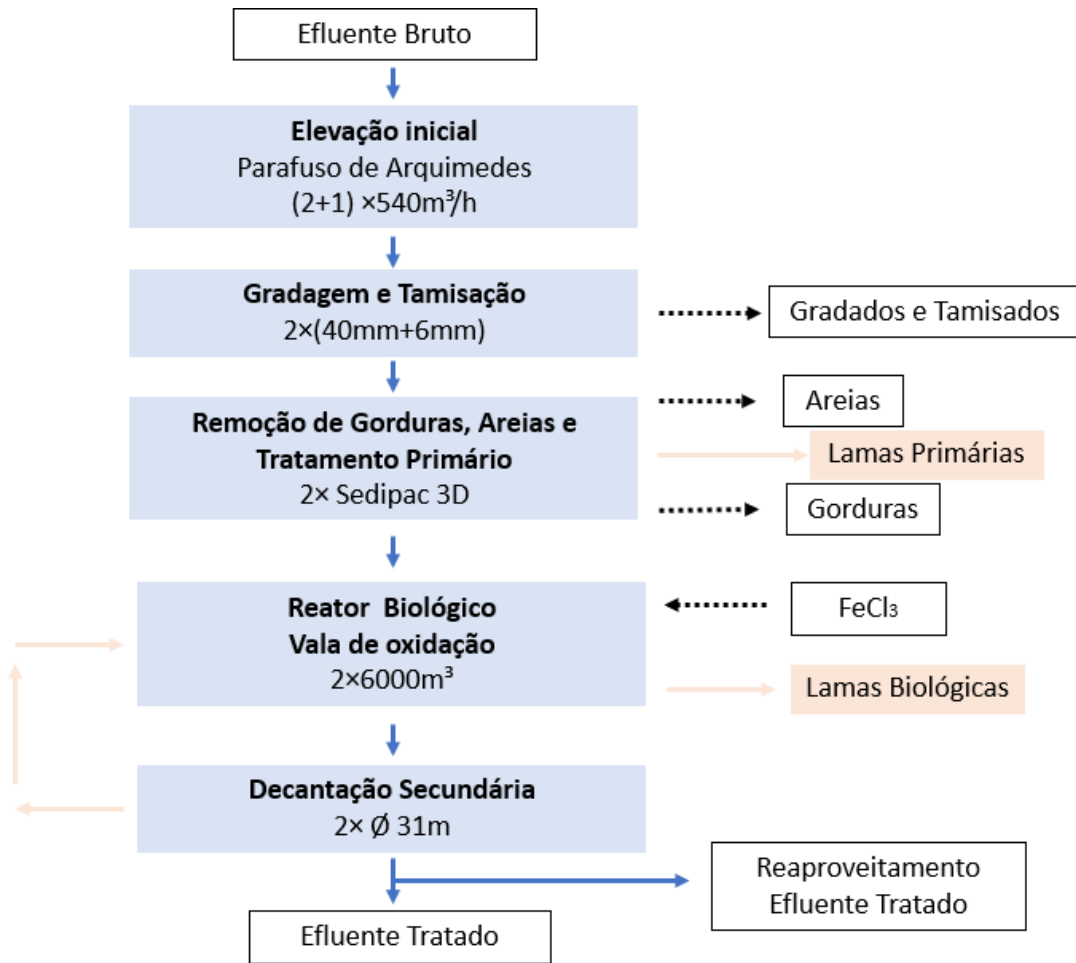
Programa de monitorização do meio recetor a implementar

Os resultados do programa de monitorização deverão ser reportados à Entidade Licenciadora com uma periodicidade mensal. O programa de monitorização do meio recetor deverá realizar-se mediante as seguintes condições.

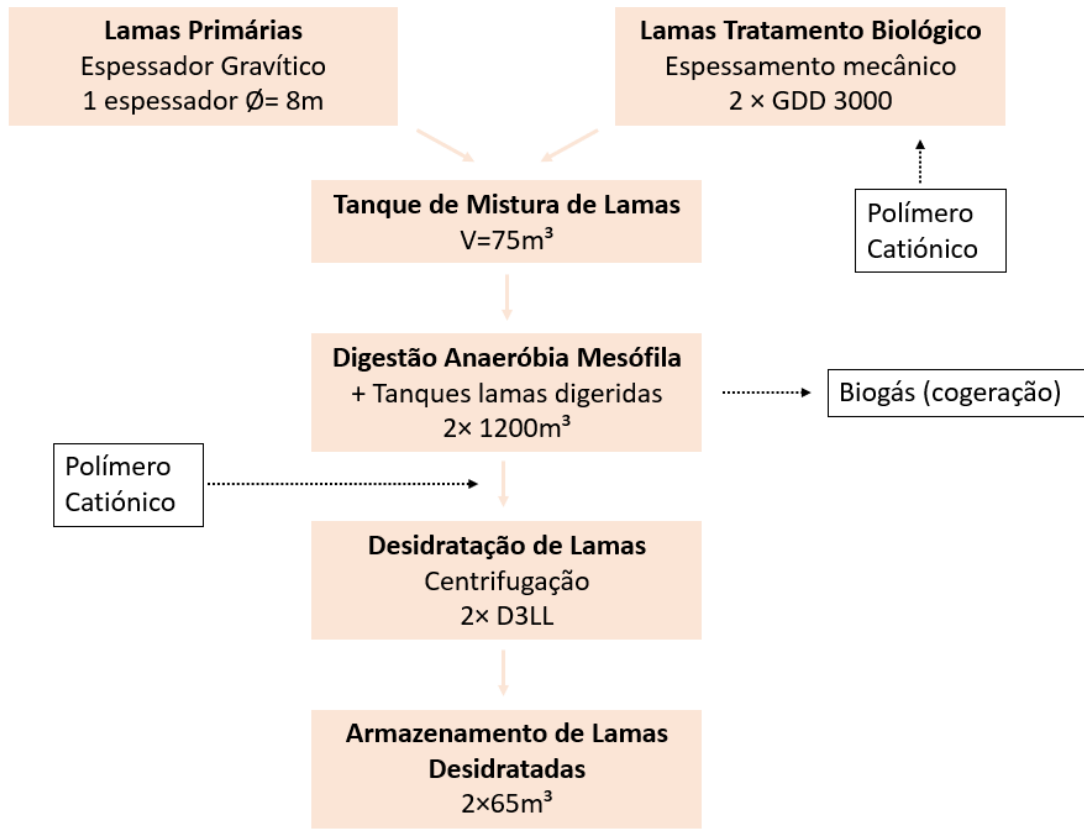
Anexo IV- Diagrama ETAR Castelo Branco Fonte:ADP202



Anexo V- Esquema de tratamento da fase líquida da ETAR Castelo Branco



Anexo VI- Esquema tratamento da fase sólida da ETAR Castelo Branco



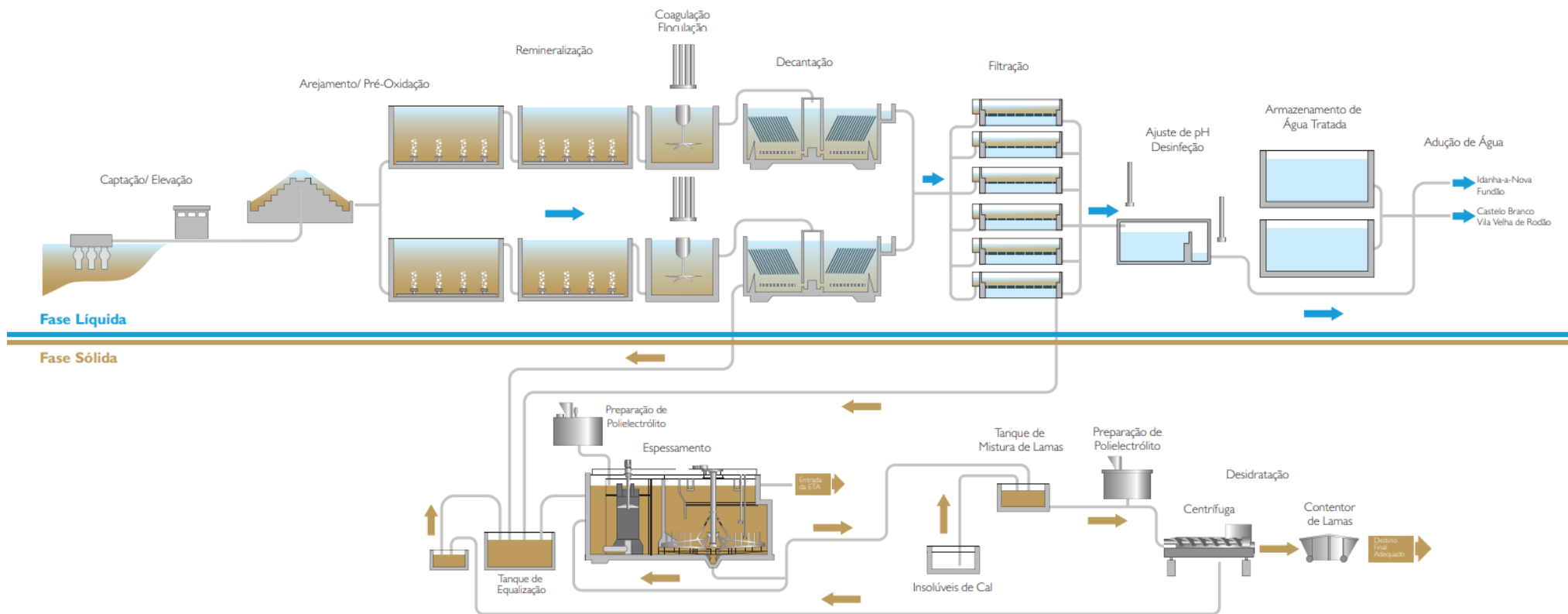
Anexo VII- Esquema ETA Asseiceira

Fonte (Silva, 2017)



Anexo VIII- Esquema ETA Santa Águeda

Fonte:ADP2020



Anexo IX – Metodologia para determinação do pH (método potenciométrico)

Adaptado de: Prof.^a Doutora Maria da Conceição Santos (Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia – U.N.L.)

Princípio do método

O método potenciométrico baseia-se na diferença de potencial que se estabelece entre um eletrodo de vidro e outro de referência (calomelanos), quando mergulhados na mesma solução. Esta diferença de potencial é função linear do pH da solução.

Reagentes

Os reagentes utilizados neste método têm como único objetivo a calibração do eletrodo de pH:

- Solução para o padrão de pH 4;
- Solução para o padrão de pH 7;
- Solução para o padrão de pH 10.

Equipamento

- Soluções tampão de calibração;
- Medidor de pH, composto por um eletrodo combinado de pH de referência, com um eletrodo de compensação automática da temperatura;
- Agitador e barra magnéticos.

Procedimento

1. Calibre o eletrodo combinado de pH com as soluções de pH 7 e 4 ou 7 e 10, conforme a gama de pH em que poderá situar-se o pH da amostra;
2. Depois de calibrado coloque o eletrodo na amostra, suspendendo-o na solução de forma a não tocar nas paredes do recipiente e registre o valor obtido. Pode agitar-se a solução, no entanto deve-se esperar que esta repouse antes de se registar o valor. Em alternativa, pode-se colocar a amostra em agitação, durante 15 segundos, num agitador magnético. Depois de desligar a agitação deve-se aguardar que o pH estabilize durante 2 minutos antes de registar a leitura obtida no medidor de pH.

Nos casos em que a leitura sofra alguns desvios, deve-se aguardar até que estabilize antes de se registar o valor final. Se a leitura não estabilizar, deve-se calibrar novamente o eletrodo. Se o desempenho do eletrodo na calibração for aceitável, regista-se o valor atingido após 5 minutos de permanência do eletrodo na amostra, o desvio pode ser devido a alterações químicas em progresso na amostra e não a deficiência do eletrodo;

3. Registe o valor de pH com duas casas decimais;
4. Lave o eletrodo com água destilada e seque-o entre cada medição. Quando não estiver em utilização, o eletrodo deve de estar mergulhado em água destilada ou numa solução tampão. Os eletrodos novos devem ser limpos com uma solução ácida fraca (0,01 M) e subsequentemente mergulhados na solução tampão de pH 4.

Anexo X – Metodologia para determinação da condutividade elétrica

Princípio do método

A condutividade elétrica mede a capacidade de uma solução aquosa conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íões. A condutividade elétrica pode variar em função: da concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, da temperatura, da mobilidade dos íões e com a valência dos mesmos. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), a condutividade elétrica é expressa em Siemens por metro (S/m).

Equipamento

- Soluções tampão de calibração;
- Medidor de condutividade elétrica;
- Agitador e barra magnéticos.

Procedimento

1. Ligar o equipamento;
2. Deixar o equipamento ligado durante, aproximadamente, 10 minutos;
3. Lavar a sonda de condutividade elétrica com água destilada e secar com papel absorvente macio;
4. Calibrar o aparelho com solução padrão de condutividade elétrica (1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C);
5. Lavar novamente a sonda de condutividade elétrica com água destilada e secar com papel absorvente macio;
6. Proceder à leitura de condutividade elétrica da amostra, suspendendo o eletrodo na solução, de forma a não tocar nas paredes do recipiente e registrar o valor obtido. Pode agitar-se a solução, no entanto deve-se esperar que esta repouse antes de se registrar o valor. Em alternativa, pode-se colocar a amostra em agitação, durante 15 segundos, num agitador magnético. Depois de desligar a agitação, deve-se aguardar que a condutividade elétrica estabilize durante 2 minutos antes de registrar a leitura obtida no medidor de condutividade elétrica.
7. Após a leitura da amostra, lavar o eletrodo com água destilada e guardar conforme especificação do fabricante.

Anexo XI – Metodologia para determinação de sólidos

Adaptado de: Prof.^a Doutora Maria da Conceição Santos (Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia – U.N.L.)

Sólidos Totais (ST)

Princípio do método

A determinação dos sólidos totais realiza-se através da evaporação e secagem de uma amostra de volume conhecido, num cadinho previamente tarado.

Equipamento

- Cadinho de porcelana;
- Balança analítica: modelo AG204 da *Mettler Toledo*;
- Banho de ebulição: modelo Precistern de 6 posições da *Selecta*;
- Estufa: modelo OF-11E da *Lab. Companion*;
- Exsicador.

Procedimento (ST)

1. Coloque um cadinho de porcelana na estufa a 103-105°C durante 1 a 2 horas;
2. Retire o cadinho para o exsicador e espere que arrefeça;
3. Pese o cadinho na balança analítica e registe o seu peso (*A*) (g);
4. Meça, com pipeta, um volume *V* (mL) de amostra para o cadinho;
5. Leve a evaporar a amostra em banho-maria;
6. Após a amostra ter-se evaporado, coloque o cadinho na estufa a 103-105°C durante 1 a 2 h;
7. Retire o cadinho para o exsicador e espere que arrefeça;
8. Pese o cadinho em balança analítica (*B*₁);
9. Volte a colocar o cadinho na estufa durante 1 a 2 horas;
10. Retire o cadinho para o exsicador e espere que arrefeça;
11. Pese o cadinho em balança analítica (*B*₂);

Se $B_1 - B_2 < 0,5\text{mg}$, considere B_2 o peso final (*B*) (g). Caso contrário repita o procedimento descrito nas etapas 9 a 11, até obter um peso que não difira do anterior mais de 0,5mg.

Procedimento (STV)

Coloque o cadinho com ST secos na mufla a 550 °C durante 1 hora;
Retire o cadinho para o exsicador e espere que arrefeça;
Pese o cadinho em balança analítica (*C*) (g).

Cálculos:

$$ST(\text{mg.l}^{-1}) = \frac{B - A}{V_{\text{amostra}}} \times 10^6$$
$$STV(\text{mg.l}^{-1}) = \frac{B - C}{V_{\text{amostra}}} \times 10^6$$

Anexo XII – Specific Resistance to Filtration (SRF)

Princípio do método

A determinação da resistência à filtração é determinada com recurso ao processo de filtração a vácuo, também frequentemente designado por teste de filtração a vácuo de Büchner.

Equipamento

- Copo;
- Porta-filtros;
- Bomba: modelo N035AN.18 da *KNF*;
- *Kitasato*;
- Frasco de 3 tobuladuras;
- Garras.
- Membrana de microfibras de vidro do tipo MFV3 da *Filter-Lab*, equivalente ao GF/C da *Whatman*;
- Manómetro de vácuo
- Viscosímetro Brookfield Modelo: MVD-20

Procedimento

- 1) Determinar a concentração da amostra (Anexo XII);
- 2) Colocar o papel de filtro no funil e ligar a bomba;
- 3) Pipetar 80 ml de amostra de lama para o funil de Büchner. Este volume deve ser suficiente para formar um bolo de lama com uma espessura de 8mm a 10mm;
- 4) Aguardar até que a pressão se mantenha constante, controlar/ajustar a válvula de ar, de forma a garantir uma pressão negativa constante de 0,5 Bar. Este valor deve ser mantido até ao final do ensaio;
- 5) Assim que a pressão alcançar o valor desejado (0,5 Bar), registar o tempo (t_0) e o volume inicial (v_0);
- 6) Registar os valores de volume filtrado após t_0 e v_0 , de:
 - 5 em 5 segundos, no primeiro minuto do ensaio
 - 10 em 10 segundos, no segundo minuto do ensaio
 - 15 em 15 segundos, após o segundo minuto até ao término do ensaio;
- 7) O ensaio termina quando há a cisão do bolo de lama, refletindo-se em termos práticos na perda de pressão;
- 8) Determinar a viscosidade do filtrado;
- 9) Determinar a concentração do filtrado;
- 10) Calcular a massa seca e volátil do bolo de lama formado.

Cálculos:

$$SRF = \frac{2P \cdot m \cdot A^2}{\mu \cdot C}$$

Onde:

SRF- Resistência específica à filtração (m/kg)

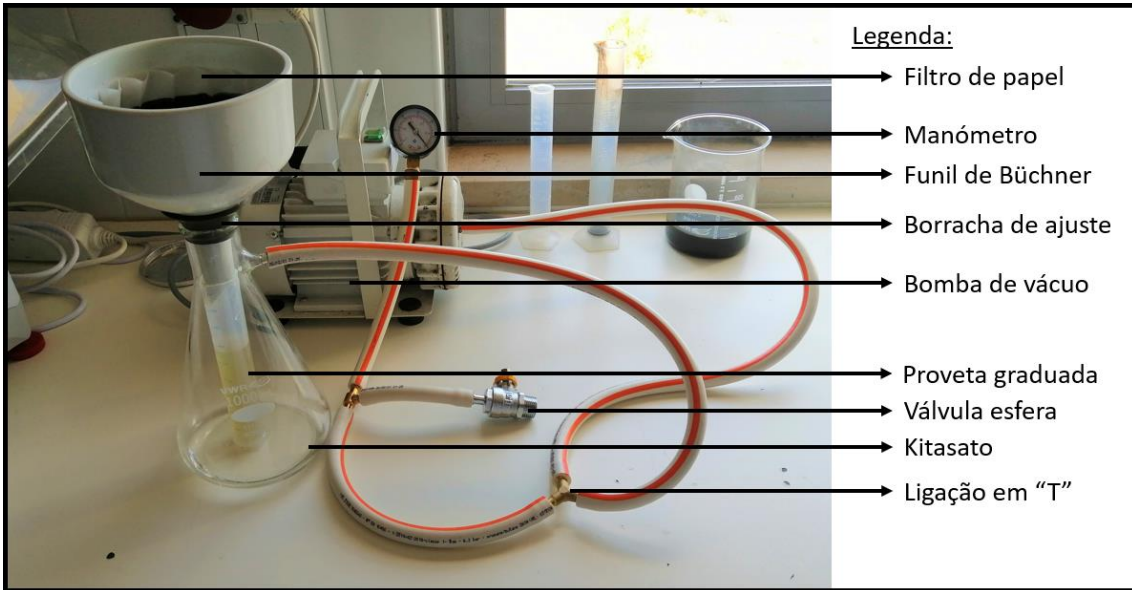
μ - Viscosidade do líquido (Pa.s)

P- Pressão da filtração (Pa)

A- Área/secção da filtração (m²)

m- Declive da reta V/T versus V

C- Concentração do bolo da lama (Kg/m³)



Anexo XIII - Caracterização da LETA da Asseiceira

ANEXO XIII a) Metais pesados. Fonte (Silva, 2017)

Análise Química de Lama Centrifuga

Origem: ---
 Requisição nº 1837 de 2008-04-29
 Início da Análise em: 2008-04-29
 Conclusão da Análise em: 2008-06-02



Av.ª da Liberdade, 24

EPAL



1250-144 Lisboa

Dados da Amostra

Colheita
 Responsável: Cliente
 Local: ---
 Efectuada em: 2008-04-28

Obs: ---
 Rótulo: ---

Nota(s):

(B.S.) - Resultado em Base Seca
 Digestão para metais no resíduo: M.M. 10.1 (Microondas)

A. Pro - le. e.º Vísina Gausi

P. 20.06.08

Resultados

Parâmetro		Método	Valor
Perda a 105°C		EN 12890	28 %
Perda a 500°C - Perda a 105°C		EN 12879	23 % (B.S.)
Ponto de Inflamação	(*)	ASTM D16-98a	> 70 °C
Substâncias Lipo-fílicas	(*)	EPA 9971B	< 0,4 %
Comp. org. vol. halogenados	(*) (0)	M.M. (GC-MS)	< 0,05 %
Comp. org. vol. não halogenados	(*) (0)	M.M. (GC-MS)	< 0,15 %
Arsénio		M.M. 5.2 (EAA-GH)	160 mg/kg (B.S.)
Cádmio		SMEWW 3120 (ICP)	1 mg/kg (B.S.)
Cobre		SMEWW 3120 (ICP)	102 mg/kg (B.S.)
Crómio		SMEWW 3120 (ICP)	14 mg/kg (B.S.)
Mercúrio		M.M. 5.3 (EAA-VF)	< 2 mg/kg (B.S.)
Níquel		SMEWW 3120 (ICP)	21 mg/kg (B.S.)
Chumbo		SMEWW 3120 (ICP)	< 20 mg/kg (B.S.)
Zinco		SMEWW 3120 (ICP)	389 mg/kg (B.S.)
pH	(EL)	SMEWW 4500 H+	10,0 (a 23°C)
Condutividade	(EL)	NP EN 27888	0,59 mS/cm
Carbono Orgânico Total	(EL)	SMEWW 5310 C	98 mg C/L
Arsénio	(EL)	M.M. 5.2 (EAA-GH)	< 0,04 mg/L
Cádmio	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	< 0,2 mg/L
Cobre	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	0,3 mg/L
Crómio Hexavalente	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	< 0,05 mg/L
Crómio Total	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	< 0,05 mg/L
Mercúrio	(EL)	M.M. 5.3 (EAA-VF)	< 0,01 mg/L
Níquel	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	< 0,2 mg/L
Chumbo	(EL)	SMEWW 3120 (ICP)	< 0,2 mg/L

Visto 20.06.08 J. Gausi



O ensaio assinalado com (*) não está incluído no âmbito da acreditação

Os resultados constantes neste documento referem-se exclusivamente à amostra e parâmetros assinalados. Este documento não pode ser reproduzido ou totalmente.

A apresentação de um resultado incluindo o método (número) representa a nível de qualificação para este parâmetro pelo método referido. LIGA de Métodos/Procedimentos Laboratoriais adotados

10.1. Digestão em Base Seca (Pirólise) - M.M. 10.1 (Microondas) - 10.2. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.2 (Microondas) - 10.3. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.3 (Microondas) - 10.4. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.4 (Microondas) - 10.5. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.5 (Microondas) - 10.6. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.6 (Microondas) - 10.7. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.7 (Microondas) - 10.8. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.8 (Microondas) - 10.9. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.9 (Microondas) - 10.10. Digestão em Base Úmida (Pirólise) - M.M. 10.10 (Microondas)

ANEXO XIII b) Compostos orgânicos voláteis. Fonte (Silva, 2017)

Resíduo
(Lama Centrifuga)

Req. N° 1837 - 08

2008-05-12
(M.M. GC-MS)

• COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS HALOGENADOS (VOC's)

	(<)	(µg/Kg)	(%)
Diclorometano		13	0,0000013
Clorofórmio	< 3		< 0,0000003
Tetracloroeto de carbono	< 3		< 0,0000003
1,2 - Dicloroetano	< 3		< 0,0000003
Tricloroetano	< 3		< 0,0000003
Bromodiclorometano	< 3		< 0,0000003
Tetracloroetano	< 3		< 0,0000003
Dibromoclorometano	< 3		< 0,0000003
Clorobenzeno	< 3		< 0,0000003
Bromofórmio	< 3		< 0,0000003
1,2 - Diclorobenzeno	< 3		< 0,0000003
Hexaclorobutadieno	< 3		< 0,0000003
1,4 - Diclorobenzeno	< 3		< 0,0000003
1,1,1 - Tricloroetano	< 3		< 0,0000003
1,3,5 - Triclorobenzeno	< 3		< 0,0000003
1,2,4 - Triclorobenzeno	< 3		< 0,0000003
			Soma : 0,0000058 %
VOC's halogenados :	<	0,05	%

Nota : nenhum dos compostos determinados ultrapassa individualmente 100 mg/Kg

• COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS NÃO-HALOGENADOS (NVOC's)

	(<)	(µg/Kg)	(%)
Benzeno	< 3		< 0,0000003
Tolueno	< 3		< 0,0000003
Etilbenzeno	< 3		< 0,0000003
m-Xileno + p-Xileno	< 3		< 0,0000003
o-Xileno	< 3		< 0,0000003
Isopropilbenzeno	< 3		< 0,0000003
Propilbenzeno	< 3		< 0,0000003
Naftaleno		8	0,0000008
			Soma : 0,000003 %
VOC's não-halogenados :	<	0,15	%

Nota : nenhum dos compostos determinados ultrapassa individualmente 300 mg/Kg



Relatório de Análise Nº: LCR / 112 / 2008

Cliente : EPAL - Empresa Portuguesa de Águas Livres, SA
Morada : EPAL - Asseiceira 2305-101 Asseiceira, Tomar
Amostra Nº : LCR / 112 / 2008
Requisição nº : Fax EPAL .S.A Nº 080430APT0011267 de 30-04-2008
Ref.º da amostra : Lama ETA de Asseiceira
Data da recepção : 06-05-2008
Início da análise : 06-05-2008
Fim da análise : 29-05-2008

Origem da amostra :
Odor :
Cor :
Forma física :
Código(s) LER :

ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Parâmetros	Métodos Analíticos	Especificação 1	Especificação 2	Resultados
<i>Escherichia coli</i> (ufc/g)*	M.M.9.2	—	—	0
<i>Salmonella</i> spp (pesquisa/g)*	ISO 6340	—	—	Negativo

Especificação 1 - Decreto nº 273/84 de 27 de Junho

Especificação 2 - Decreto nº 1119 de 27 de Junho

EN - European Norm for Europe, ISO - International Organization for Standardization

* Para mais informações consulte o manual de procedimentos de análise de laboratório

O TÉCNICO DO LABORATÓRIO


 Irene Morais
 (téc. Eng.º Agrária)

O DIRECTOR DO LABORATÓRIO


 Jorge Araújo
 (téc. Eng.º Biológico)

ANEXO XIII d) Análise química. Fonte (Silva, 2017)



Relatório de Análise Nº: LCR / 112 / 2008

Cliente : EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA
Morada : EPAL - Asseiceira 2305-101 Asseiceira, Tomar
Amostra Nº : LCR / 112 / 2008
Requisição nº : Fax EPAL .S.A. Nº 060430AP10011267 de 30-04-2008
Ref.ª da amostra : Lama ETA de Asseiceira
Data da recepção : 06-05-2008
Início da análise : 06-05-2008
Fim da análise : 29-05-2008

Origem da amostra :
Odor :
Cor :
Forma física :
Código(x) LER :

ANÁLISE QUÍMICA

Parâmetros	Métodos Analíticos	Especificação 1	Especificação 2	Resultados
Matéria seca 105°C (%)	EN 12500	—	—	86,5
Matéria orgânica 350°C (%)	EN 12579	—	—	11,5
pH a 20°C	EN 12178	—	—	6,9
Amónia Total (NH ₄ ⁺)	ME-015 (LECO)	—	—	0,33
Azoto nítrico (NO ₃ ⁻)	ME-01	—	—	<0,01
Azoto Amóniacal (mg/100g)*	ME-03	—	—	<2
Fósforo total (mg/kg m.s.)*	EAA	—	—	1,9
Cobre total (mg/kg m.s.)	EAA	1000	—	<0,01
Zinco total (mg/kg m.s.)	EAA	2500	—	0,7
Cádmio total (mg/kg m.s.)	EAA	20	—	0,05
Cromo total (mg/kg m.s.)	EAA	750	—	<0,01
Crómio total (mg/kg m.s.)	EAA	1000	—	<0,01
Níquel total (mg/kg m.s.)	EAA	300	—	<0,01
Mercurio (mg/kg m.s.)*	GC-FID	10	—	<0,2

Fonte: Artigo 11.º do Regulamento (CE) Nº 1831/2003 (Anexo I, ponto 1.º)

Epurados 1

EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. - Rua da Liberdade, 10 - 2305-101 Asseiceira, Tomar
 Rua da Liberdade, 10 - 2305-101 Asseiceira, Tomar
 Telefone: 211 200 000 - Fax: 211 200 001 - Email: geral@epal.pt
 www.epal.pt

* Os resultados são expressos em mg/kg m.s. (matéria seca) a menos que se especifique o contrário.

O TÉCNICO DO LABORATÓRIO

Maria Morais
 (Lic. Nº 1/04/2008)

O DIRECTOR DO LABORATÓRIO

Jorge Araújo
 (Lic. Nº 1/04/2008)

Anexo XIV - Caracterização da LETA de Santa Águeda

ANEXO XIV a) Metais pesados. Fonte (Silva, 2017)



Instituto de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica

LAE - LABORATÓRIO DE ÁGUAS E EFLUENTES

BOLETIM DE ANÁLISE Nº: 1564/2009



SMC/NV - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 21ª Ed. - APHA, AWWA, WEF - LD - limite de detecção; valor médio do qual n. - análise laborar se o analito está ou não presente. * LO - limite de quantificação; valor a partir do qual a detecção é quantitativa * ESA - ensaio subcontratado a laboratório acreditado para este parâmetro * O ensaio acreditado com @ não está incluído no âmbito da acreditação.

Análises solicitadas por: Data de recepção de amostras: Data de início dos ensaios: Data de conclusão dos ensaios: Número e tipo de amostras: Ficha informativa nº:	LENA AMBIENTE, S.A. Parque Lena - Alferrarede - Apartado 72 2204-906 ABRANTES 2009.11.13 2009.11.17 2009.11.27 1 amostra Refª "Resíduos LER 190902 - ST ÁGUEDA" 15178 (Amostra 1311LEN03)
--	--

RESULTADOS DA ANÁLISE

Parâmetro Analítico	Unidades	Valor obtido	Valor Limite†	Método analítico
Sólido				
Sólidos totais	%	14,4	-	Gravimetria (SMEW 2540S)
Lixiviado‡				
pH a 20°C	-	8,3	-	DIN 38404 (C5) (ESA)
Condutividade elétrica a 20°C	µS/cm	1,5	-	DIN EN 27888 (C8) (ESA)
Arsénio e	ng As/kg amostra seca	0,12	5	DIN EN ISO 17294-2 (E29) (ESA)
Bário e	ng Ba/kg amostra seca	0,30	100	
Cádmio e	ng Cd/kg amostra seca	<0,005 ^{LO}	2	
Crómio total e	ng Cr/kg amostra seca	<0,02 ^{LO}	20	
Cobre e	ng Cu/kg amostra seca	0,18	50	
Mercurio e	ng Hg/kg amostra seca	<0,004 ^{LO}	0,5	
Molibdénio e	ng Mo/kg amostra seca	0,054	10	
Níquel e	ng Ni/kg amostra seca	0,040	10	
Chumbo e	ng Pb/kg amostra seca	<0,02 ^{LO}	10	
Antimónio e	ng Sb/kg amostra seca	<0,02 ^{LO}	0,7	
Selénio e	ng Se/kg amostra seca	<0,04 ^{LO}	0,5	
Zinco e	ng Zn/kg amostra seca	<0,2 ^{LO}	50	
Cloreto e	ng Cl/kg amostra seca	3540	50 000	
Fluoreto e	ng F/kg amostra seca	7,7	250	
Sulfato e	ng SO ₄ /kg amostra seca	880	20 000	DIN 38409 H1-2 (ESA)
Sólidos dissolvidos totais e	ng/kg amostra seca	24870	60 000	DIN EN 1484 (H3) (ESA)
Carbono Orgânico Dissolvido e	ng COD/kg amostra seca	12520	1000*	

A recolha das amostras e a seleção dos parâmetros analíticos são da responsabilidade do cliente.

Santa Maria da Feira, 30 de Novembro de 2009

Helder Durão
Responsável Técnico

† Tabela 4 do Anexo IV do Decreto-lei 183/2009 (Valores limites para admissão em aterros para resíduos não perigosos)

‡ O lixiviado foi obtido segundo a Norma EN ISO 12457-2 (ensaio subcontratado a laboratório [para ele acreditado], para uma razão L/S=10 L/kg)

* Sempre que o aterro for especialmente destinado à admissão de resíduos orgânicos, este valor poderá ser ultrapassado. Também poderá ser ultrapassado sempre que se tratar de um resíduo que não seja susceptível de fermentar.

Reprodução parcial proibida

Os resultados apresentados dizem respeito exclusivamente às amostras ensaiadas

página 1 de 1

Rua do IDIT - Espurgo 4530-102 Santa Maria da Feira PORTUGAL Tel: 351 256 370 100 Fax: 351 256 370 110 info@idit.ptpt www.idit.ptpt
 Ponto de Contacto: 3.168.381.03 © C. R. E. C. de Santa Maria da Feira n.º 26/96003E JORF 301 219 017

Anexo XV- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama mista digerida condicionada com lama da Asseiceira, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis

Dose (massa de condicionador: massa seca de lama)		Amostra	Massa cadinho (g)	Volume (ml)	Massa cad.+amos (g)	Massa cad.+amos. seca (g)	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa cad.+amos. Volátil (g)	Massa Volátil (g)	SV (g/ml)	SV (g/g)
Sem condicionamento			37,3094	30	77,8174	37,8314	0,5220	17,40	0,01	37,4687	0,1593	5,3E-05	0,004
Condicionamento Lama ETA Asseiceira	0,05:1	Bolo de lama	34,6134	-	40,2422	35,4744	0,8610	102,80	0,153	34,8674	0,2540	-	0,045
		Mistura	39,2996	30	67,0456	39,8126	0,5130	17,10	0,018	39,4559	0,1563	5,2E-05	0,006
		Filtrado	35,1077	30	65,7563	35,1446	0,0369	1,23	0,001	35,1321	0,0244	8,1E-06	0,001
	0,1:1	Bolo de lama	38,8562	-	69,7157	39,9217	1,0655	102,47	0,035	39,1901	0,3339	-	0,011
		Mistura	31,0348	30	45,1100	31,5656	0,5308	17,69	0,038	31,2381	0,2033	6,8E-05	0,014
		Filtrado	37,7274	30	71,1144	37,7647	0,0373	1,24	0,001	37,7531	0,0257	8,6E-06	0,001
	0,2:1	Bolo de lama	37,9841	-	41,8600	38,7156	0,7315	121,50	0,189	38,2404	0,2563	-	0,066
		Mistura	31,2683	30	65,4612	32,4311	1,1628	38,76	0,034	31,4882	0,2199	7,3E-05	0,006
		Filtrado	35,1255	30	65,7741	35,1600	0,0345	1,15	0,001	35,1501	0,0246	8,2E-06	0,001
	0,3:1	Bolo de lama	37,5016	-	44,5831	38,8657	2,0230	122,76	0,261	38,0075	1,1648	-	0,150
		Mistura	39,2978	30	75,4527	40,0419	0,7441	24,80	0,021	39,6398	0,3420	1,1E-04	0,009
		Filtrado	36,8427	30	67,4629	36,8806	0,0379	1,26	0,001	36,8677	0,0250	8,3E-06	0,001
	0,4:1	Bolo de lama	38,0703	-	46,3016	39,5722	1,5019	145,19	0,182	38,8281	0,7578	-	0,092
		Mistura	34,9496	30	69,9250	35,7408	0,7912	26,37	0,023	35,3459	0,3963	1,3E-04	0,011
		Filtrado	35,2497	30	65,8054	35,2848	0,0351	1,17	0,001	35,2734	0,0237	7,9E-06	0,001
	0,5:1	Bolo de lama	34,0134	-	41,0781	35,5957	1,5823	163,30	0,224	34,8343	0,8209	-	0,116
		Mistura	33,2982	30	67,2100	34,1240	0,8258	27,53	0,024	33,6297	0,3315	1,1E-04	0,010
		Filtrado	37,0661	30	68,3574	37,1016	0,0355	1,18	0,001	37,0897	0,0236	7,9E-06	0,001
	0,75:1	Bolo de lama	38,5898	-	43,8036	40,0565	1,4667	168,19	0,281	39,2689	0,6791	-	0,130
		Mistura	40,6196	30	74,9569	41,5664	0,9468	31,56	0,028	41,0208	0,4012	1,3E-04	0,012
		Filtrado	34,6139	30	66,0478	34,6533	0,0394	1,31	0,001	34,6364	0,0225	7,5E-06	0,001
	1:1	Bolo de lama	37,9576	-	44,9620	39,7274	1,7698	184,94	0,253	38,8160	0,8584	-	0,123
		Mistura	32,3998	30	67,6172	33,5397	1,1399	38,00	0,032	32,9242	0,5244	1,7E-04	0,015
		Filtrado	34,5812	30	69,0830	34,6190	0,0378	1,26	0,001	34,6032	0,0220	7,3E-06	0,001
1,5:1	Bolo de lama	36,6603	-	42,5198	38,6970	2,0367	303,09	0,348	37,7480	1,0877	-	0,186	
	Mistura	40,2490	30	77,0420	41,6459	1,3969	46,56	0,038	40,9850	0,7360	2,5E-04	0,020	
	Filtrado	34,3298	30	68,6469	34,3686	0,0388	1,29	0,001	34,3529	0,0231	7,7E-06	0,001	

Anexo XVI- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista digerida condicionada com lama de ETA de Santa Águeda, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis

Dose (massa de condicionador: massa seca de lama)		Amostra	Massa cadinho (g)	Volume (ml)	Massa cad.+amos (g)	Massa cad.+amos. seca (g)	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa cad.+amos. Volátil (g)	Massa Volátil (g)	SV (g/ml)	SV (g/g)
Sem condicionamento			37,3094	30	77,8174	37,8314	0,5220	17,40	0,01	37,4687	0,1593	5,3E-05	0,004
Condicionamento Lama ETA Santa Águeda	0,05:1	Bolo de lama	37,5000	-	41,6175	38,2806	0,7806	114,95	0,19	37,7476	0,2476	-	0,060
		Mistura	38,3460	30	76,6244	38,8943	0,5483	18,28	0,01	38,5023	0,1563	5,2E-05	0,004
		Filtrado	37,3136	30	70,8200	37,3501	0,0365	1,22	0,00	37,3380	0,0244	8,1E-06	0,001
	0,1:1	Bolo de lama	38,0690	-	43,6913	39,2333	1,1643	125,82	0,21	38,4453	0,3763	-	0,067
		Mistura	36,8510	30	70,8367	37,4516	0,6006	20,02	0,02	37,0466	0,1956	6,5E-05	0,006
		Filtrado	34,9442	30	67,5192	34,9847	0,0405	1,35	0,00	34,9718	0,0276	9,2E-06	0,001
	0,2:1	Bolo de lama	33,2996	-	38,5265	34,3920	1,0924	115,49	0,21	33,6744	0,3748	-	0,072
		Mistura	34,0133	30	68,1595	34,6519	0,6386	21,29	0,02	34,2350	0,2217	7,4E-05	0,006
		Filtrado	38,8580	30	68,0485	38,8971	0,0391	1,30	0,00	38,8834	0,0254	8,5E-06	0,001
	0,3:1	Bolo de lama	36,4726	-	42,8073	37,7294	1,2568	130,20	0,20	36,9415	0,4689	-	0,074
		Mistura	29,7854	30	62,1689	30,5520	0,7666	25,55	0,02	30,0484	0,2630	8,8E-05	0,008
		Filtrado	36,1846	30	67,5931	36,2267	0,0421	1,40	0,00	36,2137	0,0291	9,7E-06	0,001
	0,4:1	Bolo de lama	37,9840	-	44,5225	39,3791	1,3951	135,80	0,21	38,5277	0,5437	-	0,083
		Mistura	37,2104	30	68,1060	37,9312	0,7208	24,03	0,02	37,4877	0,2773	9,2E-05	0,009
		Filtrado	31,2696	30	65,2787	31,3097	0,0401	1,34	0,00	31,2929	0,0233	7,8E-06	0,001
	0,5:1	Bolo de lama	35,1106	-	43,9399	36,5309	1,4203	173,45	0,16	35,6815	0,5709	-	0,065
		Mistura	35,4352	30	70,4261	36,5727	1,1375	37,92	0,03	35,7563	0,3211	1,1E-04	0,009
		Filtrado	31,0367	30	62,4747	31,0770	0,0403	1,34	0,00	31,0540	0,0173	5,8E-06	0,001
	0,75:1	Bolo de lama	37,6746	-	45,0987	39,4183	1,7437	175,41	0,23	38,4273	0,7527	-	0,101
		Mistura	36,2274	30	72,0504	37,1229	0,8955	29,85	0,02	36,6123	0,3849	1,3E-04	0,011
		Filtrado	34,9048	30	68,0527	34,9530	0,0482	1,61	0,00	34,9350	0,0302	1,0E-05	0,001
	1:1	Bolo de lama	34,3278	-	41,7924	36,2881	1,9603	176,82	0,26	35,2265	0,8987	-	0,120
		Mistura	29,7855	30	67,1028	30,8232	1,0377	34,59	0,03	30,2517	0,4662	1,6E-04	0,012
		Filtrado	38,0678	30	73,5453	38,1208	0,0530	1,77	0,00	38,1010	0,0332	1,1E-05	0,001
1,5:1	Bolo de lama	38,3212	-	45,7470	40,8689	2,5477	237,24	0,34	39,6175	1,2963	-	0,175	
	Mistura	35,7220	30	68,7960	37,0579	1,3359	44,53	0,04	36,3732	0,6512	2,2E-04	0,020	
	Filtrado	36,6583	30	69,6418	36,7144	0,0561	1,87	0,00	36,9000	0,2417	8,1E-05	0,007	

Anexo XVII- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com lama da Asseiceira, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis

Dose (massa de condicionador: masa seca de lama)		Amostra	Massa cadinho (g)	Volume (ml)	Massa cad.+amos (g)	Massa cad.+amos. seca (g)	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa cad.+amos. Volátil (g)	Massa Volátil (g)	SV (g/ml)	SV (g/g)
Sem condicionamento			35,3224	30	68,3894	36,0348	0,7124	23,75	0,02	35,4738	0,1514	5,05E-05	0,005
Condicionamento Lama ETA Asseiceira	0,05:1	Bolo de lama	39,3025	-	44,8262	50,6262	11,3237	164,47	2,05	39,5997	0,2972	-	0,054
		Mistura	40,2477	30	74,8810	40,9852	0,7375	24,58	0,02	40,4242	0,1765	5,88E-05	0,005
		Filtrado	37,3126	30	69,1733	37,3811	0,0685	2,28	0,0	37,3475	0,0349	1,16E-05	0,001
	0,1:1	Bolo de lama	35,1297	-	40,2393	36,5008	1,3711	170,82	0,27	35,4675	0,3378	-	0,066
		Mistura	39,2967	30	72,2028	40,0617	0,7650	25,50	0,02	39,4941	0,1974	6,58E-05	0,006
		Filtrado	36,4118	30	68,3580	36,4818	0,0700	2,33	0,00	36,4447	0,0329	1,10E-05	0,001
	0,2:1	Bolo de lama	34,9057	-	40,4543	36,5708	1,6651	209,48	0,30	35,3865	0,4808	-	0,087
		Mistura	31,2691	30	66,8297	32,1209	0,8518	28,39	0,02	31,5164	0,2473	8,24E-05	0,007
		Filtrado	36,6608	30	70,3356	36,7365	0,0757	2,52	0,00	36,6932	0,0324	1,08E-05	0,001
	0,3:1	Bolo de lama	37,5014	-	43,7681	39,4057	3,2195	213,53	0,42	38,1203	1,9341	-	0,255
		Mistura	33,0861	30	66,9338	33,9908	0,9047	30,16	0,03	33,3777	0,2916	9,72E-05	0,009
		Filtrado	36,1862	30	64,4633	36,2598	0,0736	2,45	0,00	36,2168	0,0306	1,02E-05	0,001
	0,4:1	Bolo de lama	37,9495	-	44,5518	39,7029	1,7534	233,32	0,27	38,5907	0,6412	-	0,097
		Mistura	36,1733	30	69,2527	37,3298	1,1565	38,55	0,03	36,5064	0,3331	1,11E-04	0,010
		Filtrado	32,3978	30	64,1962	32,4722	0,0744	2,48	0,00	32,4286	0,0308	1,03E-05	0,001
	0,5:1	Bolo de lama	38,5906	-	45,6720	40,6202	2,0296	246,49	0,29	39,3186	0,7280	-	0,103
		Mistura	35,4357	30	69,0559	36,6532	1,2175	40,58	0,04	35,7967	0,3610	1,20E-04	0,011
		Filtrado	37,7315	30	69,4642	37,8051	0,0736	2,45	0,00	37,7668	0,0353	1,18E-05	0,001
	0,75:1	Bolo de lama	29,7871	-	36,9798	32,0816	2,2945	262,25	0,32	30,7819	0,9948	-	0,138
		Mistura	34,6156	30	68,1284	35,8592	1,2436	41,45	0,04	35,1276	0,5120	1,71E-04	0,015
Filtrado		31,0396	30	62,0436	31,1143	0,0747	2,49	0,00	31,0732	0,0336	1,12E-05	0,001	
1:1	Bolo de lama	34,0129	-	40,5447	36,6695	2,6566	301,51	0,41	35,3154	1,3025	-	0,199	
	Mistura	36,8456	30	71,3921	38,2112	1,3656	45,52	0,04	37,4351	0,5895	1,97E-04	0,017	
	Filtrado	34,4103	30	65,2192	34,4866	0,0763	2,54	0,00	34,4427	0,0324	1,08E-05	0,001	
1,5:1	Bolo de lama	33,2475	-	39,3721	35,9802	2,7327	318,19	0,45	34,6806	1,4331	-	0,234	
	Mistura	34,0119	30	69,1600	35,6385	1,6266	54,22	0,05	34,8280	0,8161	2,72E-04	0,023	
		Filtrado	35,5057	30	69,4932	35,5957	0,0900	3,00	0,00	35,5406	0,0349	1,16E-05	0,001

Anexo XVIII- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com lama de ETA de Santa Águeda, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis

Dose (massa de condicionador: masa seca de lama)		Amostra	Massa cadinho (g)	Volumen (ml)	Massa cad.+amos (g)	Massa cad.+amos. seca (g)	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa cad.+amos. Volátil (g)	Massa Volátil (g)	SV (g/ml)	SV (g/g)
Sem condicionamento			35,3224	30	68,3894	36,0348	0,7124	23,75	0,02	35,4738	0,1514	5,05E-05	0,005
Condicionamento Lama ETA Sanata Águeda	0,05:1	Bolo de lama	34,3515	-	41,0329	35,6820	1,3305	145,90	0,20	34,6660	0,3145	-	0,047
		Mistura	36,1733	30	71,4168	36,9222	0,7489	24,96	0,02	36,3555	0,1765	5,88E-05	0,005
		Filtrado	40,6192	30	72,1693	40,6963	0,0771	2,57	0,00	40,6490	0,0349	1,16E-05	0,001
	0,1:1	Bolo de lama	33,0906	-	41,5222	34,3450	1,2544	167,51	0,15	33,4102	0,3196	-	0,038
		Mistura	37,9496	30	75,0404	38,8981	0,9485	31,62	0,03	38,1455	0,1959	6,53E-05	0,005
		Filtrado	32,6492	30	65,3088	32,7329	0,0837	2,79	0,00	32,6780	0,0288	9,60E-06	0,001
	0,2:1	Bolo de lama	40,6989	-	41,3452	41,5412	0,8423	189,39	1,30	40,9398	0,2409	-	0,373
		Mistura	35,8825	30	78,0093	36,7746	0,8921	29,74	0,02	36,2889	0,4064	1,35E-04	0,010
		Filtrado	39,2968	30	72,0299	39,3848	0,0880	2,93	0,00	39,3316	0,0348	1,16E-05	0,001
	0,3:1	Bolo de lama	37,5013	-	46,1131	38,4403	0,9390	211,20	0,11	37,7934	0,2921	-	0,034
		Mistura	39,3013	30	74,9218	40,2529	0,9516	31,72	0,03	39,8114	0,5101	1,70E-04	0,014
		Filtrado	36,8460	30	69,3497	36,9392	0,0932	3,11	0,00	36,8811	0,0351	1,17E-05	0,001
	0,4:1	Bolo de lama	36,2275	-	43,6735	38,0026	1,7751	227,35	0,24	36,8399	0,6124	-	0,082
		Mistura	38,5895	30	75,1199	39,7841	1,1946	39,82	0,03	38,9178	0,3283	1,09E-04	0,009
		Filtrado	37,3208	30	72,7386	37,4238	0,1030	3,43	0,00	37,3571	0,0363	1,21E-05	0,001
	0,5:1	Bolo de lama	34,9066	-	41,0580	36,7822	1,8756	257,86	0,30	35,5779	0,6713	-	0,109
		Mistura	34,6160	30	74,2813	35,7698	1,1538	38,46	0,03	34,9921	0,3761	1,25E-04	0,009
		Filtrado	34,5818	30	71,2261	34,6863	0,1045	3,48	0,00	34,6189	0,0371	1,24E-05	0,001
	0,75:1	Bolo de lama	38,3233	-	46,0861	40,5494	2,2261	259,08	0,29	39,2265	0,9032	-	0,116
		Mistura	37,9897	30	76,7940	39,2504	1,2607	42,02	0,03	38,4773	0,4876	1,63E-04	0,013
Filtrado		32,4067	30	65,1591	32,5183	0,1116	3,72	0,00	32,4512	0,0445	1,48E-05	0,001	
1:1	Bolo de lama	32,6748	-	41,9157	35,3891	2,7143	369,97	0,29	33,8918	1,2170	-	0,132	
	Mistura	32,6745	30	70,3579	34,5012	1,8267	60,89	0,05	35,6079	2,9334	9,78E-04	0,078	
	Filtrado	35,3270	30	67,4333	35,4366	0,1096	3,65	0,00	35,3717	0,0447	1,49E-05	0,001	
1,5:1	Bolo de lama	37,2112	-	47,5087	39,6478	2,4366	387,29	0,24	38,3553	1,1441	-	0,111	
	Mistura	34,3297	30	73,6872	36,1496	1,8199	60,66	0,05	36,2993	1,9696	6,57E-04	0,050	
		Filtrado	35,4382	30	68,7887	35,4435	0,0053	0,18	0,00	35,4494	0,0112	3,73E-06	0,000

Anexo XIX- Resultados laboratoriais dos ensaios com lama digerida condicionada com polímero Ambifloc®AP 1000 P

Dose (massa de condicionador/ massa seca de lama)		Amostra	Massa cadinho (g)	Volume (ml)	Massa cad.+amos (g)	Massa cad.+amos. seca (g)	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa cad.+amos. Volátil (g)	Massa Vólátil (g)	SV (g/ml)	SV (g/g)
Sem condicionamento			33,0883	30	70,0521	33,6613	0,5730	19,10	0,02	33,2428	0,1545	5,15E-05	0,004
Condicionamento com polímero Ambifloc®AP 1000 P	0,5 kg/ton	Bolo de lama	38,9054	-	44,7620	39,9728	1,0674	62,43	0,18	39,1505	0,2451	-	0,042
		Mistura	38,9046	30	74,6134	39,6066	0,7020	23,40	0,02	39,0594	0,1547	5,16E-05	0,004
		Filtrado	32,9629	30	64,7791	33,0338	0,0709	2,39	0,0	32,9871	0,0242	8,13E-06	0,001
	1,0 Kg/ton	Bolo de lama	35,4355	-	40,7391	36,5070	1,0715	78,01	0,20	35,8080	0,3725	-	0,070
		Mistura	36,2714	30	71,4859	37,0652	0,7937	26,46	0,02	36,4651	0,1936	6,45E-05	0,005
		Filtrado	33,4311	30	67,2534	33,5012	0,0701	2,34	0,00	33,4584	0,0273	9,11E-06	0,001
	1,5 Kg/ton	Bolo de lama	32,1620	-	36,9423	33,2431	1,0810	102,38	0,23	32,5331	0,3711	-	0,078
		Mistura	33,8348	30	68,7353	34,8237	0,9890	32,97	0,03	34,0542	0,2195	7,32E-05	0,006
		Filtrado	34,0657	30	70,0549	34,1355	0,0697	2,32	0,00	34,0909	0,0251	8,38E-06	0,001
	2 Kg/ton	Bolo de lama	35,4355	-	40,7391	36,5264	1,0909	105,90	0,15	35,8997	0,4642	-	0,064
		Mistura	36,2714	30	71,4859	37,1722	0,9008	30,03	0,03	36,5318	0,2604	8,68E-05	0,007
		Filtrado	33,4311	30	67,2534	33,4412	0,0101	0,34	0,00	33,4599	0,0288	9,60E-06	0,001
10kg/ton	Bolo de lama	33,7987	-	42,2530	34,9364	1,1377	228,54	0,13	34,2676	0,4689	-	0,055	
	Mistura	35,0531	30	78,6862	35,8421	0,7890	26,30	0,02	35,3161	0,2630	8,77E-05	0,006	
	Filtrado	33,7484	30	70,0704	33,7684	0,0200	0,67	0,00	33,7775	0,0291	9,70E-06	0,001	

Anexo XX- Resultados Laboratoriais dos ensaios com lama mista condicionada com polímero Ambifloc®AP300 EM

	Dose (massa de condicionador/ massa seca de lama)	Amostra	Massa cadinho (g)	Volume (ml)	Massa	Massa	Massa seca (g)	ST (g/L)	ST (g/g)	Massa	Massa Volátil (g)	SV	SV
					cad.+amos (g)	cad.+amos. seca (g)				cad.+amos . Volátil (g)		(g/ml)	(g/g)
	Sem condicionamento		35,3224	30	68,3894	36,0348	0,7124	23,75	0,02	35,4738	0,1514	5,0E-05	0,005
Condicionamento com polímero (Ambifloc®AP300 EM)	0,5 kg/ton	Bolo de lama	39,2984	-	45,2141	40,3766	1,0782	144,05	0,18	39,4634	0,1650	-	0,028
		Mistura	39,2976	30	75,3671	40,0067	0,7091	23,64	0,02	39,3976	0,1000	3,3E-05	0,003
		Filtrado	33,2959	30	65,4334	33,3675	0,0716	2,39	0,0	33,3301	0,0342	1,1E-05	0,001
	1,0 Kg/ton	Bolo de lama	35,9751	-	41,3595	37,0630	1,0879	147,94	0,20	36,1183	0,1432	-	0,027
		Mistura	36,8238	30	72,5746	49,1017	0,0008	23,74	0,00	36,9805	0,1567	5,2E-05	0,004
		Filtrado	33,9402	30	68,2776	34,0114	0,0712	2,37	0,00	34,0358	0,0956	3,2E-05	0,003
	1,5 Kg/ton	Bolo de lama	32,6518	-	37,5049	33,7493	1,0975	151,83	0,23	32,8048	0,1530	-	0,032
		Mistura	34,3500	30	69,7820	58,1967	0,0008	23,85	0,00	34,4845	0,1345	4,5E-05	0,004
		Filtrado	34,5845	30	71,1217	34,6553	0,0708	2,36	0,00	34,6085	0,0240	8,0E-06	0,001
	2 Kg/ton	Bolo de lama	35,9751	-	41,3595	37,0826	1,1075	154,43	0,15	36,1319	0,1568	-	0,021
		Mistura	36,8238	30	72,5746	36,8246	0,0008	23,92	0,00	36,9895	0,1657	5,5E-05	0,005
		Filtrado	33,9402	30	68,2776	33,9403	0,0001	2,35	0,00	33,9858	0,0456	1,5E-05	0,001
4,0 kg/ton	Bolo de lama	34,3135	-	42,8964	35,1889	0,8755	155,01	0,10	34,4135	0,1000	-	0,012	
	Mistura	35,5869	30	79,8845	36,3087	0,7218	24,06	0,02	35,6869	0,1000	3,3E-05	0,002	
		Filtrado	34,2624	30	71,1375	34,3335	0,0711	2,37	0,00	34,3467	0,0843	2,8E-05	0,002

Anexo XXI- Resultados do ajuste de uma equação linear (regressão linear) aos dados t/v vs v

Lama mista digerida condicionada com lama de ETA da Asseiceira										
Dosagem:	0,00:1	0,05:1	0,10:1	0,20:1	0,30:1	0,40:1	0,50:1	0,75:1	1,00:1	1,50:1
m (s/m ⁶)	1,32E+11	1,65E+11	1,69E+11	1,69E+11	1,68E+11	2,08E+11	1,77E+11	2,04E+11	2,54E+11	2,54E+11
b (s/m ³)	-2,02E+09	-2,75E+09	-2,89E+09	-2,35E+09	-1,74E+09	-1,84E+09	-1,40E+09	-1,08E+09	-1,36E+09	-1,36E+09
r ²	0,99	0,96	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Lama mista digerida condicionada com lama de ETA de Santa Águeda										
Dosagem:	0,00:1	0,05:1	0,10:1	0,20:1	0,30:1	0,40:1	0,50:1	0,75:1	1,00:1	1,50:1
m (s/m ⁶)	1,32E+11	1,71E+11	1,71E+11	1,95E+11	3,24E+11	2,90E+11	3,32E+11	3,19E+11	3,85E+11	3,85E+11
b (s/m ³)	-2,02E+09	-1,28E+09	-1,28E+09	-1,65E+09	-1,68E+09	-1,40E+09	-1,59E+09	-2,28E+09	-1,82E+09	-1,82E+09
r ²	0,99	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99

Lama mista condicionada com lama de ETA da Asseiceira										
Dosagem:	0,00:1	0,05:1	0,10:1	0,20:1	0,30:1	0,40:1	0,50:1	0,75:1	1,00:1	1,50:1
m (s/m ⁶)	1,12E+11	1,19E+11	1,26E+11	9,22E+10	1,08E+11	1,26E+11	1,26E+11	1,12E+11	7,36E+10	7,36E+10
b (s/m ³)	-1,79E+09	-1,64E+09	-2,66E+09	-1,92E+09	-1,90E+09	-1,87E+09	-1,98E+09	-1,43E+09	-1,39E+09	-1,39E+09
r ²	0,99	0,96	0,95	0,95	0,98	0,91	0,98	0,99	0,95	0,95

Lama mista condicionada com lama de ETA de Santa Águeda										
Dosagem:	0,00:1	0,05:1	0,10:1	0,20:1	0,30:1	0,40:1	0,50:1	0,75:1	1,00:1	1,50:1
m (s/m ⁶)	1,07E+11	1,06E+11	1,06E+11	7,63E+10	1,26E+11	1,58E+11	1,14E+11	1,30E+11	1,71E+11	1,71E+11
b (s/m ³)	-1,65E+09	-1,33E+09	-1,33E+09	-9,91E+08	-1,81E+09	-1,89E+09	-1,34E+09	-1,58E+09	-2,05E+09	-2,05E+09
r ²	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Lama mista condicionada com Ambifloc® AP300 EM						
Dosagem:	0,0 Kg/ton	0,5 Kg/ton	1,0 Kg/ton	1,5 Kg/ton	2 Kg/ton	10 Kg/ton
m (s/m ⁶)	1,07E+11	1,64E+11	1,72E+11	1,79E+11	1,10E+11	1,10E+11
b (s/m ³)	-1,65E+09	-1,56E+09	-1,87E+09	-2,15E+09	-1,99E+09	-1,83E+09
r ²	0,99	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99

Lama digerida condicionada com Ambifloc® AP 1000 P						
Dosagem:	0,0 Kg/ton	0,5 Kg/ton	1,0 Kg/ton	1,5 Kg/ton	2 Kg/ton	10 Kg/ton
m (s/m ⁶)	1,59E+11	9,58E+11	6,71E+11	6,10E+11	5,93E+11	1,37E+11
b (s/m ³)	-2,80E+09	-6,78E+09	-2,77E+09	-2,78E+09	-4,43E+09	-2,84E+09
r ²	0,98	0,97	1,00	0,99	0,99	0,95