



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE LAMAS E ORGANIZAÇÃO DO BALANÇO DE MASSAS

JORGE FILIPE SEQUEIRA SANTOS

Bacharel em Engenharia Civil

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Área de
Especialização de Hidráulica

(Versão Final)

Orientador:

Mestre Mário Carlos Manso Correia, Prof. Adjunto (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutora Maria Helena F. Marecos do Monte, Prof. Coord. (ISEL)

Vogais:

Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos, Prof. Adjunto (ISEL)

Mestre Mário Carlos Manso Correia, Prof. Adjunto (ISEL)

Junho 2012

RESUMO

A gestão das lamas tornou-se uma das questões mais críticas para a indústria do tratamento das águas residuais em todo o mundo. Cada vez é mais rápido o incremento do volume de lamas produzido, como consequência do aumento do número de habitantes ligados aos sistemas de drenagem existentes e às estações de tratamento de águas residuais (ETAR). Por outro lado os critérios de descarga nos efluentes são cada vez mais exigentes.

O trabalho consiste no estudo de um modelo de cálculo para determinar os caudais e cargas orgânicas, CBO (carência bioquímica de oxigénio) e de SST (sólidos suspensos totais) dos sobrenadantes (clarificados) produzidos no tratamento das águas residuais e do tratamento das lamas com base no conhecimento dos caudais e características tratar.

A elaboração do balanço de massas é a primeira ferramenta para compreender as e dimensionar uma ETAR. Este balanço permite determinar não só o incremento de caudais de sólidos e de cargas poluentes (sobrenadantes) que são reintroduzidos a montante da ETAR, como também é uma ajuda importante para o correcto dimensionamento das diversas fases de tratamento ^[1].

Palavras-chave: ETAR, lamas, balanço de massas, CBO, SST, sobrenadantes.

ABSTRACT

Sludge management has become one of the most critical issues for the wastewater treatment industry worldwide. In fact, more and more sludge is produced as a result of an increase in the population connected to draining systems and Wastewater Treatment Plants (WWTPs). On the other hand, more rigorous wastewater discharge criteria have been implemented.

Therefore, this thesis analyzes the different processes and procedures of sludge treatment (solid-phase treatment) and intends to conceive a mathematical model to calculate the volumetric flow rate and the organic load of supernatants, BOD (biochemical oxygen demand) and TSS (Total suspended solids) of supernatants (clarified) produced in sludge treatment using as a basis the available data on the flow rate and sludge characteristics.

The mass balance of solids allows one to determine the increase in solids, flow rate and organic loading (supernatants) that are reinserted into the system. The treatment systems at a WWTP must take into consideration the aforementioned increase ^[1].

Keywords: WWTPs, sludge, mass balance, BOD and SST, supernatant.

Agradecimentos

Queria agradecer ao meu orientador, Mestre Mário Manso Correia, pela orientação e apoio prestado durante a realização do trabalho.

Aos meus colegas e amigos pela ajuda e disponibilidade em todos os momentos.

Aos meus pais por me apoiarem e permitirem que pudesse concluir esta etapa final do curso.

À minha namorada, pelo apoio, dedicação, motivação e compreensão.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJECTIVOS.....	1
1.3 METODOLOGIA.....	2
1.4 ESTRUTURA.....	2
2. TRATAMENTO DA FASE LIQUIDA	3
2.1 TRATAMENTO PRELIMINAR.....	7
2.2 TRATAMENTO PRIMÁRIO.....	7
2.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO.....	8
3. TIPOS DE SÓLIDOS E LAMAS.....	10
3.1 LAMAS PRIMÁRIAS.....	11
3.2 LAMAS SECUNDÁRIAS	11
3.3 CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS.....	12
4. PRODUÇÃO DE LAMAS	15
4.1 PRODUÇÃO DE LAMAS PRIMÁRIAS.....	15
4.1.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	16
4.2 PRODUÇÃO DE LAMAS SECUNDÁRIAS	17
4.2.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	21
5. CONCENTRAÇÕES DOS SÓLIDOS NAS LAMAS	23
5.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	25
6. TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA.....	27
6.1 ESPESSAMENTO.....	28
6.1.1 ESPESSADORES GRAVÍTICOS.....	29
6.1.2 ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO.....	30
6.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	32
6.3 DESIDRATAÇÃO	33
6.3.1 CENTRIFUGAÇÃO.....	34

7. BALANÇO DE MASSAS	36
7.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	37
7.2 DADOS BASE	38
7.3 1ª ITERAÇÃO	40
7.3.1 CARGAS POLUENTES	40
7.3.2 TRATAMENTO PRIMÁRIO	40
7.3.3 ESPESSAMENTO GRAVÍTICO	43
7.3.3.1 SOBRENADANTES DO ESPESSADOR GRAVÍTICO	45
7.3.4 TRATAMENTO SECUNDÁRIO	46
7.3.5 ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO	50
7.3.5.1 SOBRENADANTES DO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO	52
7.3.6 DIGESTÃO ANAERÓBIA	54
7.3.6.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	57
7.3.6.2 BALANÇO MÁSSICO DO DIGESTOR	58
7.3.6.3 SOBRENADANTES DO DIGESTOR DE LAMAS	59
7.3.7 DESIDRATAÇÃO	61
7.3.7.1 SOBRENADANTES DA DESIDRATAÇÃO	63
7.4 RESUMOS DAS CARGAS POLUENTES DA 1ª ITERAÇÃO	64
7.5 2ª ITERAÇÃO	65
7.5.1 TRATAMENTO PRIMÁRIO	66
7.5.2 ESPESSAMENTO GRAVÍTICO	66
7.5.2.1 SOBRENADANTES DO ESPESSADOR GRAVÍTICO	67
7.5.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO	68
7.5.4 ESPESSADOR POR AR DISSOLVIDO	69
7.5.4.1 SOBRENADANTES DO ESPESSADOR POR AR DISSOLVIDO	70
7.5.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA	71
7.5.5.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	74
7.5.5.2 BALANÇO MÁSSICO DO DIGESTOR	74

7.5.5.3 SOBRENADANTES DO DIGESTOR DE LAMAS.....	76
7.5.6 DESIDRATAÇÃO	76
7.5.6.1 SOBRENADANTES DA DESIDRATAÇÃO.....	77
7.6 RESUMOS DAS CARGAS POLUENTES DA 2ª ITERAÇÃO.....	77
7.7 3ª ITERAÇÃO.....	79
8. CONCLUSÃO	81
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXO I.....	83
ANEXO II.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – ESQUEMA TIPO DE UMA ETAR CONVENCIONAL	4
FIGURA 2.2 – DISTRIBUIÇÃO DO TIPO DE TRATAMENTO DAS ETAR POR RH, PARA O ANO 2009 [INAG; INSSAR, 2010]	5
FIGURA 2.3 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO PRELIMINAR.....	7
FIGURA 2.4 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO	8
FIGURA 2.5 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO.....	9
FIGURA 6.1 – ORGANOGRAMA DO ESQUEMA TIPO DE TRATAMENTO DE LAMAS	27
FIGURA 6.2 – ESQUEMA DE ESPESSADOR GRAVÍTICO CIRCULAR [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010]	30
FIGURA 6.3 – ESQUEMA DE ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010]	31
FIGURA 6.4 – ESQUEMA DE DIGESTOR ANAERÓBIO SEGUIDO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO SECUNDÁRIO COM COBERTURA FLUTUANTE [P. AARNE VESILIND, SUSAN M. MORGAN, LAUREN G. HEINE, 2010]	33
FIGURA 6.5 – CENTRÍFUGA DE NÚCLEO SÓLIDO [TEMA SYSTEMS, INC.].....	34
FIGURA 7.1 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO DECANTADOR PRIMÁRIO ...	36
FIGURA 7.2 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO TRATAMENTO PRIMÁRIO ...	41
FIGURA 7.3 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NO ESPESSADOR GRAVÍTICO	44
FIGURA 7.4 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO	47
FIGURA 7.5 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO.....	51
FIGURA 7.6 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO DIGESTOR ANAERÓBIO	55
FIGURA 7.7 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NA DESIDRATAÇÃO.....	62
FIGURA 7.8 – ESQUEMA FINAL DO BALANÇO DE MASSAS.....	80

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 – PARÂMETROS DE DESCARGAS NOS MEIOS AFLUENTES [ADAPTADO DL Nº 152/97].....	3
QUADRO 2.2 – INDICADORES NACIONAIS DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS, ANO 2009 [INAG; INSSAR, 2010].....	6
QUADRO 3.1 - ORIGENS DE SÓLIDOS E DE LAMAS NUMA ETAR CONVENCIONAL [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	12
QUADRO 3.2- CARACTERÍSTICAS DOS SÓLIDOS E DAS LAMAS PRODUZIDAS DURANTE O TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS CONVENCIONAL [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	13
QUADRO 3.3- COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA E PROPRIEDADES DAS LAMAS NÃO TRATADAS E DIGERIDAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	14
QUADRO 4.1 – COEFICIENTES CINÉTICOS PARA ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS PARA SISTEMAS DE LAMAS ACTIVADAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	18
QUADRO 6.1 – CONSIDERAÇÕES DOS PROCESSOS DE ESPESSAMENTO [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010].....	28
QUADRO 6.2 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS NO ESPESSADOR GRAITICO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	29
QUADRO 6.3 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS NO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO DE AR DISSOLVIDO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	31
QUADRO 6.4 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS PARA AS CENTRÍFUGAS DE BOJO SÓLIDO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	35
QUADRO 7.1 - CONCENTRAÇÃO DA CBO E SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NOS SOBRENADANTES PARA AS OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE LAMAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991].....	38

QUADRO 7.2 – CAUDAL E CARGAS POLUENTES AFLUENTES DE DIMENSIONAMENTO	39
QUADRO 7.3 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO	41
QUADRO 7.4 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO.....	42
QUADRO 7.5 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO ESPESSADOR GRAVÍTICO	43
QUADRO 7.6 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO ESPESSADOR GRAVITICO.....	46
QUADRO 7.7 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO	46
QUADRO 7.8 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO	49
QUADRO 7.9 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO	50
QUADRO 7.11 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO	53
QUADRO 7.12 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO DIGESTOR ANAERÓBIO.....	54
QUADRO 7.13 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO DIGESTOR ANAERÓBIO	60
QUADRO 7.14 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO.....	61
QUADRO 7.15 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DA DESIDRATAÇÃO.....	63
QUADRO 7.16 – ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (1ª ITERAÇÃO).....	64
QUADRO 7.17 – ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (2ª ITERAÇÃO).....	78
QUADRO 7.18 – DIFERENÇA DE CARGAS POLUENTES ENTRE A 1ª ITERAÇÃO E A 2ª ITERAÇÃO	78
QUADRO 7.19 - ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (3ª ITERAÇÃO)	79
QUADRO 7.20 - DIFERENÇA DE CARGAS POLUENTES ENTRE A 2ª ITERAÇÃO E A 3ª ITERAÇÃO	79

LISTA DE SIGLAS

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais;

AR – Águas Residuais;

CBO₅ – Carência bioquímica de oxigénio (5 dias);

SST – Sólidos suspensos totais;

SSV – Sólidos suspensos voláteis;

SF – Sólidos fixos;

SV – Sólidos voláteis;

Hab. – Habitantes

Eq. – Equivalentes;

RH – Região Hidrográfica;

INAG, I.P. – Instituto da Água;

LP – Lamas primárias;

LS – Lamas secundárias;

LP_E – Lamas primárias espessadas;

LS_E – Lamas secundárias espessadas;

LDA – Lamas digeridas anaerobiamente;

FAD – Flotação por ar dissolvido;

D – Lamas desidratadas;

CA – Carga poluente;

C – Concentração;

Q – Caudal;

T – Teor poluente;

η – Eficiência;

e – Efluente;

SOB – Sobrenadantes;

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O tratamento de águas residuais urbanas surgiu da necessidade da preservação dos recursos hídricos e do ambiente face à crescente poluição produzida pelas populações e pelas indústrias. A água de consumo é, maioritariamente, utilizada para encaminhar os resíduos produzidos diariamente nas actividades domésticas, serviços e indústrias, para os meios receptores, nomeadamente lagos, rios ou mar. A maior parte dos resíduos transportados pelas águas residuais são de natureza orgânica que conferem à água um odor e coloração desagradáveis. O tratamento das águas residuais permite a sua descarga nos meios receptores sem prejuízo para a sua qualidade ^[1].

Ao implementar níveis mais elevados ou tratamentos adicionais das águas residuais, maiores volumes de sólidos serão produzidos. Geralmente o seu tratamento representa 20 a 40 % do total do custo de operação e manutenção das ETAR. O aumento dos volumes, das misturas entre lamas e das restrições no seu manuseamento, requer que, as decisões de projecto no dimensionamento dos órgãos de tratamento, quer da fase líquida, quer da fase sólida, sejam tomadas em conjunto com a experiência adquirida pelos operadores de manutenção ^[2].

1.2 OBJECTIVOS

O objectivo da presente dissertação é quantificar o balanço de massas para determinar sobrenadantes - caudais e cargas poluentes - resultantes de cada operação de tratamento, enquadrado no normal funcionamento de uma ETAR. Na prossecução deste objectivo será elaborado um modelo de cálculo, que tem como base as características e as eficiências operacionais das várias operações e processos usados normalmente no: tratamento primário, tratamento secundário, espessamento gravítico e por flotação de ar dissolvido, digestão anaeróbia e desidratação. Na medida em que os sobrenadantes são reciclados novamente no processo de tratamento de águas, o modelo de cálculo admite uma optimização através de iterações.

Pretende-se portanto que a informação obtida pelo presente estudo possibilite o correcto dimensionamento dos órgãos de tratamento estudados numa ETAR.

1.3 METODOLOGIA

Para a elaboração do modelo de cálculo, as características das lamas e as eficiências dos processos são condições necessárias para a aproximação do modelo à realidade. As quantidades de lamas produzidas são estimadas recorrendo ao método de balanço de massas (Cap. 7).

1.4 ESTRUTURA

A dissertação, no capítulo 2 aborda o tratamento das águas residuais e os processos inerentes.

O capítulo 3 descreve as características das lamas e os seus principais componentes.

No capítulo 4, centra-se nas estimativas de produção de lamas no tratamento primário e secundário.

No capítulo 5, calcula-se a concentração de sólidos nas lamas.

No capítulo 6, explana quais os tratamentos de lamas mais relevantes que posteriormente irão ser incluídos no modelo de cálculo do capítulo 7.

O capítulo 7 debruça-se sobre a preparação e elaboração do cálculo para o balanço de massas.

Finalmente no capítulo 8 pode ser encontrada a conclusão deste trabalho.

2. TRATAMENTO DA FASE LIQUIDA

O objectivo do tratamento das águas residuais é o de produzir um efluente líquido inofensivo, que não cause danos no ecossistema receptor e se possível que beneficie os cursos de água e os ecossistemas envolventes onde este será introduzido. A população humana faz parte do ecossistema e, para que não se desenvolvam doenças provenientes da utilização e consumo de água, o objectivo das estações de tratamento de águas residuais (ETAR) é a redução, e se possível a eliminação de microrganismos patogénicos ^[2].

As ETAR são constituídas por sequências de operações para poder atingir o resultado desejado. O tipo de tratamento a que devem ser sujeitas as águas residuais deve ser avaliado tendo em conta a directiva das águas residuais urbanas (Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio), transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho ^[3].

Segundo a directiva, o tratamento mais avançado do que o secundário (usualmente denominado de tratamento terciário) é exigido apenas para as aglomerações com mais de 10 000 hab.eq. que descarregam em zonas sensíveis (ou na sua área de influência). As restantes aglomerações, quer as que descarregam para zonas normais, independentemente da sua dimensão, quer as que descarregam para zonas sensíveis, desde que inferiores a 10 000 hab.eq., deverão ser sujeitas pelo menos a tratamento secundário. No QUADRO 2.1, resumem-se os parâmetros que devem ser respeitados.

QUADRO 2.1 – PARÂMETROS DE DESCARGAS NOS MEIOS AFLUENTES [ADAPTADO DL Nº 152/97]

Parâmetros	Concentração	Percentagem mínima de redução em relação ao afluente
Carência bioquímica de oxigénio (CBO ₅ a 20°C) sem nitrificação	25 mg/l O ₂	70-90
Carência química de oxigénio (CQO).	125 mg/l O ₂	75
Total de partículas sólidas em suspensão	35 mg/l	90

As estações sem tratamento terciário ou avançado (FIGURA 2.1) são normalmente constituídas por: (1) tratamento preliminar, (2) tratamento primário, (3) tratamento secundário, e (4) tratamento de lamas.

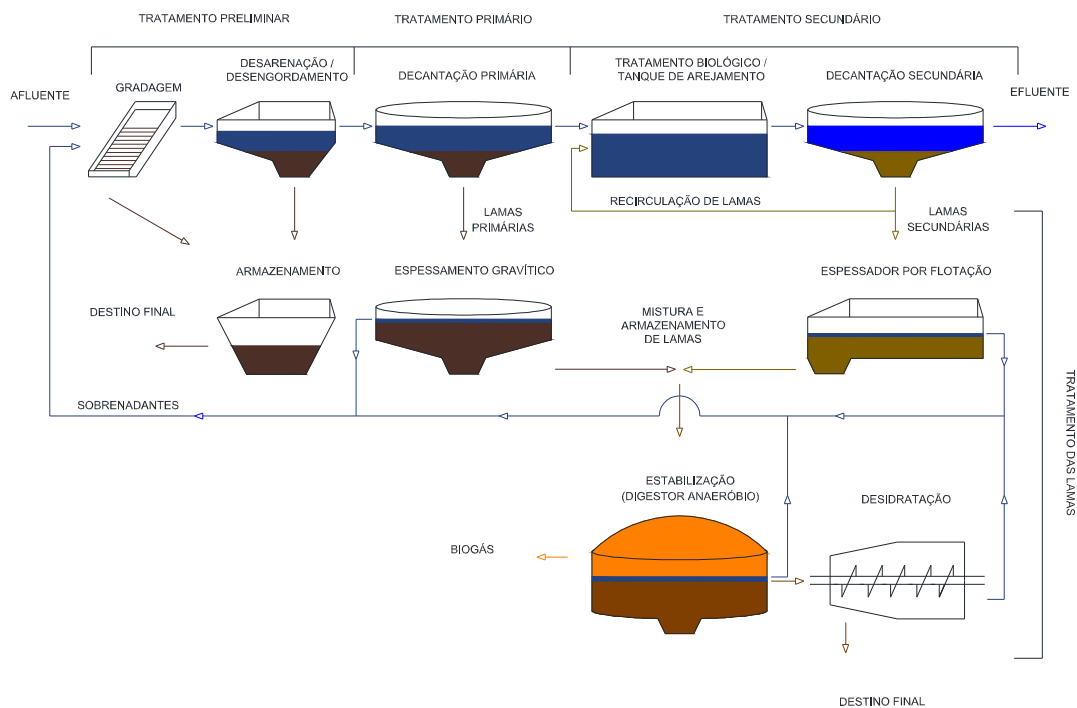


FIGURA 2.1 – ESQUEMA TIPO DE UMA ETAR CONVENCIONAL

Na FIGURA 2.2 é possível observar a distribuição por Regiões Hidrográficas dos tipos de tratamento em ETAR em Portugal, situação apresentada no Relatório do Estado do Abastecimento de Água e do Tratamento de Águas Residuais de 2010, relativo aos dados do ano de 2009 do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento e de Águas Residuais [3].

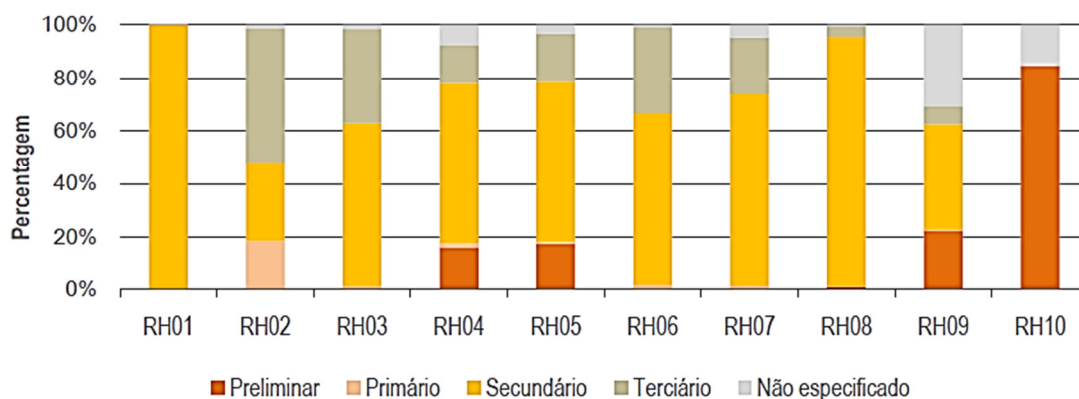


FIGURA 2.2 – DISTRIBUIÇÃO DO TIPO DE TRATAMENTO DAS ETAR POR RH, PARA O ANO 2009 [INAG; INSSAR, 2010]

Onde:

Minho e Lima (RH 1), Cavado, Ave e Leça (RH 2), Douro (RH 3), Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH 4), Tejo (RH 5), Sado e Mira (RH 6), Guadiana (RH 7), Ribeiras do Algarve (RH 8), Açores (RH 9), Madeira (RH 10).

A informação disponível no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II), que aponta como uma das metas nacionais de 90% da população servida com drenagem e tratamento de águas residuais no ano de 2013, não se encontra ainda atingida. Os dados divulgados pelo INAG, relativos ao ano 2009 (QUADRO 2.2) apontam para que a população coberta por sistemas de drenagem de águas residuais se situe em 81%, e a população atendida com sistemas de tratamento de águas residuais se situe em 71%.

Ainda de acordo com o INAG, 97% da população é servida por 1.814 Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), e 3% é servida por 2.242 Fossas sépticas Comunitárias (FSC).

A capitação média a nível nacional de águas residuais domésticas situa-se em 169 l/hab.dia, para a população atendida, sendo o volume total de águas residuais tratado de 562.615 ($\times 10^3$ m³).

A “carga bruta” e a “carga rejeitada” de águas residuais, tem como base o parâmetro de Carência Bioquímica de Oxigénio a 5 dias (CBO₅) da componente

ETAR/ FSC a nível nacional, sendo que a “carga bruta” estimada no ano de 2009 cifrou-se em 180.920 CBO₅ (ton.O₂/ano) e a “carga rejeitada” em 48.854 CBO₅ (ton.O₂/ano), cifrando-se numa eficiência de remoção de cerca de 73% ^[3].

QUADRO 2.2 – INDICADORES NACIONAIS DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS, ANO 2009 [INAG; INSSAR, 2010]

Indicadores	Nacional
População coberta estimada por sistemas de drenagem de águas residuais (x1000 ha.)	8.637
Índice de cobertura de drenagem (%)	81
População atendida estimada com sistema de tratamento de águas residuais (x1000 ha.)	7.520
Índice de atendimento de tratamento (%)	71
População servida por tipo de instalação de tratamento de águas residuais (%)	
ETAR	97
FSC	3
Número de instalações de tratamento de águas residuais (nº)	
ETAR	1.814
FSC	2.242
Capitações domésticas de águas residuais com base na população atendida (l/hab.dia)	169
Volume de águas residuais tratado por tipo de instalação (x10 ³ m ³)	
ETAR	548.294
FSC	14.321
Carga bruta e rejeitada em ETAR/FSC	
Carga bruta CBO ₅ (tonO ₂ /ano)	180.920
Carga rejeitada CBO ₅ (tonO ₂ /ano)	48.854
Eficiência de remoção (%)	73

2.1 TRATAMENTO PRELIMINAR

O tratamento preliminar (FIGURA 2.3) é constituído normalmente por grades de barras e câmaras desarenadoras de forma a proteger os equipamentos a jusante bem como diminuir os custos de manutenção da ETAR.

As grades de barras capturam os objectos de maiores dimensões, enquanto as câmaras desarenadoras removem as partículas de areia e/ou os óleos e as gorduras. Os materiais recolhidos no tratamento preliminar não são normalmente sujeitos a qualquer tipo de tratamento e são enviados para aterros sanitários ^[1].

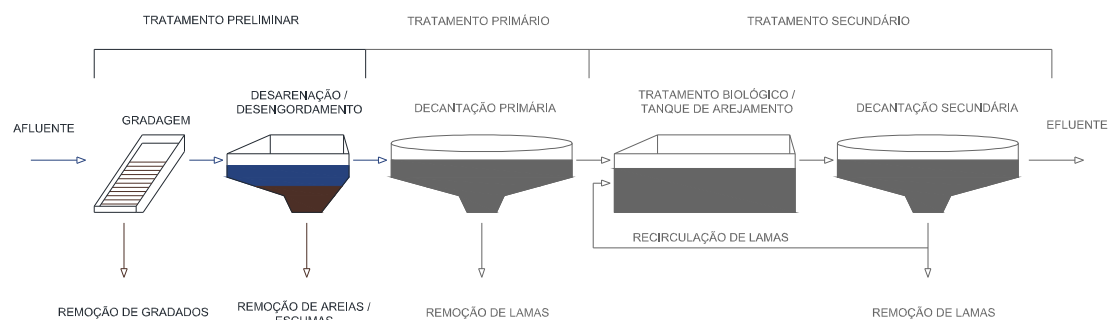


FIGURA 2.3 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO PRELIMINAR

2.2 TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário (FIGURA 2.4) é constituído normalmente por um decantador gravítico. Este, tem como objectivo remover uma parte significativa da CBO e SST. Os SST ao serem removidos, contribuem para uma redução da CBO nas águas residuais, o que se vai reflectir numa diminuição quer do consumo de energia quer dos problemas de operacionalidade nos tratamentos biológicos ^[4]

A água residual, ao ser encaminhada para o decantador primário é obrigada a permanecer num estado de relativo repouso, permitindo aos sólidos em suspensão

com peso gravítico maior que a água sedimentar e aos sólidos com peso específico menor que a água flutuar ^[1].

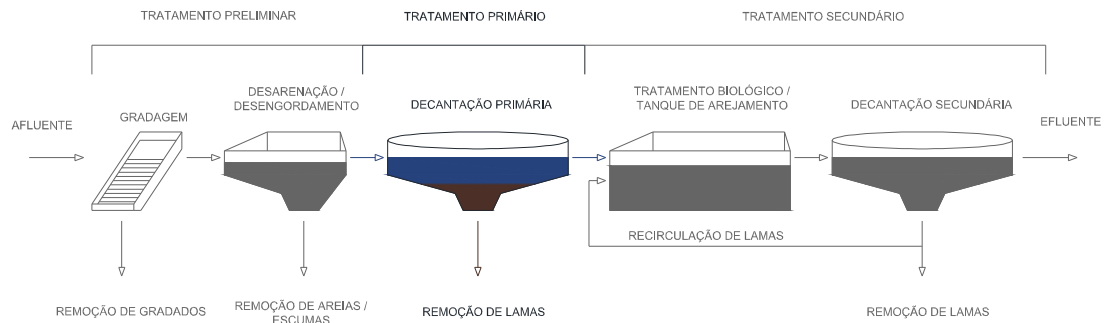


FIGURA 2.4 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO

2.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Após o tratamento primário as águas residuais apresentam uma redução significativa de sólidos, no entanto apresentam um teor demasiado elevado da CBO para serem encaminhadas para o meio receptor. O tratamento secundário tem como objectivo de remover a CBO ^[4].

O tratamento secundário mais usual é o processo de lamas activadas (FIGURA 2.5). Este é um processo constituído por um tanque de arejamento (através de ar ou oxigénio puro), onde as águas residuais são misturadas com microrganismos em suspensão. Esses microrganismos, em condições ambientais adequadas, (temperatura, pH, oxigénio, nutrientes e tempo de residência) consomem e assimilam o material orgânico dissolvido produzindo CO₂, água e microrganismos adicionais (material biológico) que têm de ser removidos através de um tanque de sedimentação. Parte desse material é recirculado novamente para o tanque de arejamento de modo a satisfazer as necessidades de consumo dos microrganismos sendo depois o excedente removido do sistema ^[5].

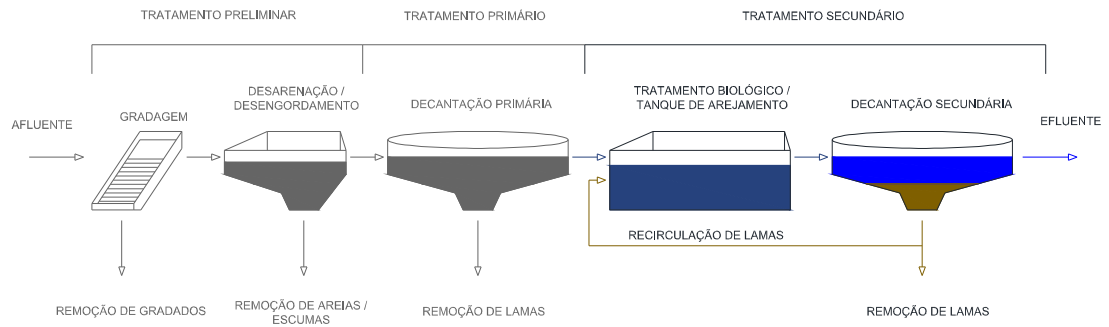


FIGURA 2.5 – ESQUEMA TIPO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO

3. TIPOS DE SÓLIDOS E LAMAS

A realização do tratamento das águas residuais produz um produto indesejável denominado “lamas de depuração”. Estas são constituídas por sólidos inorgânicos e orgânicos, contendo 1 a 5% de SST, de mistura num líquido com inúmeros sólidos dissolvidos ^[5].

As lamas de depuração são, sem sombra de dúvida, um dos constituintes que apresentam o maior volume no tratamento das águas residuais. Em 2005 cerca de 9 milhões de toneladas de sólidos foram produzidas na União Europeia.

O destino a dar a estas lamas é uma questão discutida desde há muito. Na União Europeia, a informação e os métodos utilizados diferem de país para país, pelo que não existe uma uniformização no que concerne ao tratamento dado a estes excedentes. De acordo com a informação veiculada no relatório da Agência Ambiental Europeia em 1997, entre 50 a 75% das lamas são depositadas em aterro e cerca de 25 a 35% são aplicadas em solos agrícolas ^[6].

A União Europeia promulgou directrizes que encorajam a aplicabilidade de lamas de depuração em solos agrícolas através da Directiva nº 86/278/CE. Em Portugal o Decreto-Lei nº 118/2006, de 21 de Junho, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva nº 86/278/CE, do Conselho de 12 de Junho, revogando o Decreto-Lei nº 446/91 ^[8].

No controle e incorporação das lamas depuradas em solos, torna-se imperativo adoptar uma forma de gestão das lamas, promovendo a sua valorização. Um dos parâmetros mais importantes a analisar é o teor de metais pesados, visto serem os mais nocivos, quer para a fauna, quer para a flora (devido a sua toxicidade) ^[8].

Consoante o tipo de tratamento adoptado, as lamas podem ser classificadas em dois tipos principais: lamas primárias ou lamas secundárias. A esta classificação, também se poderão incluir outro tipo de lamas, como é o caso das lamas combinadas ou das lamas de precipitação química ^[9].

3.1 LAMAS PRIMÁRIAS

As lamas provenientes do tratamento primário são denominadas por lamas primárias e tendem a decompor-se rapidamente, pelo facto de não terem sofrido qualquer tipo de tratamento. As lamas primárias são constituídas maioritariamente por matéria fecal, desperdícios de comida, fibras, argilas e em menores quantidades, metais pesados e substâncias minerais ^[9].

A decantação primária é um método relativamente eficiente para reduzir a carga da CBO no tratamento secundário, podendo remover cerca de 50 % dos sólidos totais. A concentração de sólidos nas lamas na decantação primária pode variar entre os 2,0 a 8,0 % ^[5].

As lamas primárias são facilmente espessadas graviticamente, quer nos próprios tanques de decantação quer nos espessadores gravíticos e são, por isso mesmo, mais fáceis quer de espessar, quer de desidratar do que as lamas biológicas que são obtidas no tratamento secundário ^[5].

3.2 LAMAS SECUNDÁRIAS

As lamas secundárias são compostas por sólidos que não foram removidos no decantador primário e por sólidos biológicos que resultam da conversão de matéria solúvel durante o tratamento secundário ^[10].

As quantidades de lamas produzidas podem representar de 1,5 a 2,0 % do volume de águas a tratar. Os sólidos totais podem representar 0,5 a 2,0 % dos quais 60 a 85 % são orgânicos ^[5].

Os principais tipos de lamas e de sólidos gerados numa ETAR convencional de sistemas de lamas activadas são os que se resumem no QUADRO 3.1.

QUADRO 3.1 - ORIGENS DE SÓLIDOS E DE LAMAS NUMA ETAR CONVENCIONAL [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Operações e processo unitários	Tipos de sólidos ou de lamas	Notas
Gradagem	Sólidos grosseiros	Os sólidos grosseiros são removidos por dispositivos mecânicos ou manuais. Os gradados podem ser compactados e eventualmente triturados em unidades sequentes de tratamento, para serem removidos.
Remoção de areias	Areias e escumas	A remoção de escumas é frequentemente omitida nos dispositivos de remoção de areias.
Decantação primária	Lamas primárias e escumas	As quantidades de lamas e de escumas dependem do sistema de drenagem público (unitário ou separativo) e do peso das descargas de águas residuais industriais.
Tratamento biológico	Sólidos em suspensão	Os sólidos em suspensão são produzidos pela conversão biológica da CBO. Pode ser necessária alguma forma de espessamento para concentrar as lamas em excesso removidas do tratamento biológico.
Decantação secundária	Lamas secundárias e escumas	Prever a remoção de escumas nos tanques de decantação secundária é uma exigência da USEPA.

3.3 CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS

A quantidade e as características dos sólidos produzidos durante o tratamento de águas residuais, são dos parâmetros de projecto mais importantes no pré dimensionamento de uma ETAR porque afectam não só o funcionamento do processo de tratamento de sólidos, como também o processo de tratamento da fase líquida ^[10].

As lamas digeridas (redução de microrganismos patogénicos através de condições termofílicas) podem ser denominadas por sólidos biológicos. A reutilização desses sólidos pode ser rentabilizada na agricultura, em áreas florestais, em aterros, para compostagem, entre outras ^[10].

As lamas podem ser estabilizadas anaerobiamente ou aerobiamente, reduzindo os sólidos voláteis ^[5].

No QUADRO 3.2 resumem-se algumas das características dos sólidos ou lamas tratadas.

QUADRO 3.2- CARACTERÍSTICAS DOS SÓLIDOS E DAS LAMAS PRODUZIDAS DURANTE O TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUAIS CONVENCIONAL [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Sólidos ou lamas	Descrição
Gradados	Os gradados incluem todos os tipos de materiais orgânicos e inorgânicos com tamanho suficiente para serem removidos por grades. O teor de matéria orgânica varia, dependendo da natureza do sistema e das estações do ano.
Areias	As areias são normalmente constituídas por sólidos inorgânicos mais pesados do que a água e sedimentam com velocidades relativamente elevadas. Dependendo de condições de operação, as areias também podem conter significativas quantidades de matéria orgânica, especialmente óleos e gorduras.
Escumas/gorduras	As escumas consistem em matérias flutuantes raspadas da superfície de decantadores primários e secundários. As escumas podem conter gorduras, óleos vegetais e minerais, gorduras animais, cera, sabões, resíduos de alimentação, vegetais e peles de frutas, cabelos, papéis e algodão, pontas de cigarros, materiais de plástico, preservativos, partículas de areia e materiais similares. A densidade das escumas é inferior a 1.0, normalmente à volta de 0.95.
Lamas primárias	As lamas provenientes dos decantadores primários são habitualmente cinzentas e viscosas e, na grande maioria dos casos, têm um odor extremamente repulsivo. As lamas primárias podem ser facilmente digeridas sob condições adequadas de operação.
Lamas da precipitação química	As lamas da precipitação química com sais metálicos são usualmente escuras, embora a sua superfície possa ser avermelhada se contiverem muito ferro. As lamas de cal são cinzentas acastanhadas. O odor das lamas químicas pode ser repulsivo, mas não é tão mau como o das lamas primárias. Enquanto que as lamas químicas são viscosas, a presença de hidratos de ferro ou alumínio conferem-lhe características gelatinosas. Quando armazenadas durante algum tempo, decompõem-se como as lamas primárias, mas a uma taxa mais lenta. Podem ser produzidas elevadas quantidades de gás e a densidade das lamas pode ser incrementada por uma permanência elevada num espessador.
Lamas activadas	As lamas activadas têm geralmente um aspecto acastanhado e flocoento. Se a cor é negra, as lamas podem estar próximo de atingirem condições sépticas. Se a cor é mais ligeira do que o habitual, é indicação de que o arejamento foi insuficiente, com uma tendência para os sólidos sedimentarem lentamente. As lamas em boas condições têm um cheiro a terra inofensivo. A lama tende a tornar-se séptica rapidamente e então apresenta um desagradável odor a putrefacção. As lamas activadas digerem bem sós ou misturadas com lamas primárias.
Lamas digeridas anaerobiamente	As lamas digeridas anaerobiamente são castanho-escuras a preto e contêm grandes quantidades de biogás. Quando drenadas para leitos porosos em camadas finas, os sólidos são primeiro arrastados para a superfície pelos gases entranhados, formando uma camada de água relativamente clarificada. A água drena rapidamente e permite que os sólidos penetrem lentamente no leito. À medida que as lamas secam, os gases escapam, deixando uma superfície com fendas bem delineadas com um odor que se assemelha a uma terra argilosa.

Os principais constituintes químicos das lamas e dos biosólidos são o azoto total, o azoto orgânico, azoto amoniacal, o fósforo total, a alcalinidade e os ácidos orgânicos ^[1]. Os valores relativos à composição química das lamas não tratadas e digeridas estão resumidos no QUADRO 3.3.

QUADRO 3.3- COMPOSIÇÃO QUÍMICA TÍPICA E PROPRIEDADES DAS LAMAS NÃO TRATADAS E DIGERIDAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Item	Lamas primárias não tratadas		Lamas primárias digeridas		Lamas activadas
	Gama	Médio	Gama	Médio	Gama
Sólidos secos totais (ST), %	2,0 – 8,0	5,0	6,0 – 12	10	0,8 – 1,2
Sólidos voláteis (% de ST)	60 – 80	65	30 – 60	40	59 – 88
Gorduras e óleos (%ST)	6,0 – 35	-	5,0 – 20	18	-
Proteínas (%ST)	20 – 30	25	15 – 20	18	32 – 41
Azoto (N, % de ST)	1,5 – 4,0	2,5	1,6 – 6,0	3,0	2,4 – 5,0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	0,8 – 2,8	1,6	1,5 – 4,0	2,5	2,8 – 11
Potássio (K ₂ O, % de ST)	0,0 – 1,0	0,4	0,0 – 3,0	1,0	0,5 – 0,7
Celulose (% de ST)	8,0 – 15	10	8,0 – 15	10	-
Ferro	2,0 – 4,0	2,5	3,0 – 8,0	4,0	-
Sílica (SiO ₂ , % de ST)	15 – 20	-	10 – 20	-	-
pH	5,0 – 8,0	6,0	6,5 – 7,5	7,0	6,5 a 8,0
Alcalinidade (mg/l de CaCO ₃)	500 – 1.500	600	2.500 – 3.500	3.000	580 – 1.100
Ácidos orgânicos (mg/l HAc)	200 – 2.000	500	100 – 600	200	1.100 – 1.700
Conteúdo energético, (kJ/kg)	23.241 – 29.051	25.565	9.296 – 13.944	11.620	18.592 – 23.241

4. PRODUÇÃO DE LAMAS

As quantidades e qualidades das lamas dependem do tratamento conferido às águas residuais, ou seja, da qualidade das águas residuais afluentes e do nível de tratamento aplicado. Quanto maior é o tratamento aplicado às águas residuais, normalmente maior serão as quantidades de lamas produzidas ^[3]. No tratamento primário, as lamas podem representar cerca de 0,25 a 0,35 por cento do volume de águas residuais tratadas. No tratamento secundário de lamas activadas, as quantidades das lamas aumentam para cerca de 1,5 a 12 % do volume de águas a tratar ^[5].

Na ausência de dados obtidos a partir das operações das ETAR, têm sido utilizados métodos empíricos como a “regra de ouro”, na qual se usam estimativas per capita e não informação recolhida “in loco” ^[2]. Segundo dados recolhidos nos países da Comunidade Europeia (EEA, 1997), a produção de sólidos situa-se sensivelmente em 90g/hab.dia. No entanto, os valores obtidos poderão variar significativamente se comparados com os resultados que serão obtidos nas operações das ETAR ^[6].

Uma solução para estimar a produção de sólidos consistirá em organizar um balanço mássico, (situação apresentada no capítulo 7) que relacione os sólidos produzidos com os parâmetros utilizados para dimensionar as operações e processos das ETAR.

4.1 PRODUÇÃO DE LAMAS PRIMÁRIAS

A produção de lamas primárias pode ser estimada atendendo à certeza que uma fracção dos sólidos em suspensão nas águas residuais irão sedimentar no tratamento primário. A eficiência na captura de sólidos, registada em estações de tratamento em boas condições de funcionamento nos E.U.A., situa-se entre 50 a 70% e de 25 a 40% da CBO₅ ^[1].

A adição de coagulantes para formação de flocos, como o sulfato de alumínio ou o cloreto férrico pode aumentar até cerca de 90% a remoção de SST ^[1].

A estimativa de sólidos produzidos ou removidos no tratamento primário pode ser calculada através da seguinte expressão ^[2] (4 – 1):

$$CA_{SST_LP} = Q \times T_{SST} \times \eta_{SST} \quad (4 - 1)$$

Onde:

CA_{SST_LP} – Carga de SST removidos no tratamento primário, (kg SST/d);

Q – Caudal afluente ao tratamento primário, (m^3/d);

T_{SST} – Concentração de SST afluente ao tratamento primário, (mg SST/l);

η_{SST} – Eficiência de remoção de SST do tratamento primário, (%).

Da mesma forma, a estimativa da CBO_5 removida no tratamento primário pode ser calculada através da seguinte expressão (4 – 2):

$$CA_{CBO_LP} = Q \times T_{CBO} \times \eta_{CBO} \quad (4 - 2)$$

Onde:

CA_{SST_CBO} – Carga da CBO removida no tratamento primário, (kg CBO/d);

Q – Caudal afluente ao tratamento primário, (m^3/d);

T_{CBO} – Concentração da CBO afluente ao tratamento primário, (mg CBO/l);

η_{CBO} – Eficiência de remoção da CBO do tratamento primário, (%).

4.1.1 Exemplo de aplicação

Determinar a quantidade de SST e CBO removidos no tratamento primário, para as seguintes características estudadas no capítulo 7:

- Caudal afluente ao tratamento primário: 7.138,00 (m^3/d);
- Teor de SST afluente ao tratamento primário: 545,53 ($mg\ SST/l$);
- Eficiência de remoção de SST do tratamento primário: 70,00%;
- Teor da CBO_5 afluente ao tratamento primário: 370,27 ($mg\ CBO_5/l\ O_2l$);
- Eficiência de remoção da CBO_5 do tratamento primário: 30,00%.

Resolução:

$$CA_{SST} = 7.138,00 \text{ (m}^3/\text{d)} \times \frac{545,53}{1.000,00} \text{ (kg SST/m}^3) \times 0,70 = 2.725,80 \text{ (kg SST/d)}$$

$$CA_{CBO} = 7.138,00 \text{ (m}^3/\text{d)} \times \frac{370,27}{1.000,00} \text{ (kg CBO/m}^3) \times 0,30 = 792,90 \text{ (kg CBO/d)}$$

4.2 PRODUÇÃO DE LAMAS SECUNDÁRIAS

Os sólidos em suspensão que não foram removidos no tratamento primário são removidos no tratamento secundário (biológico). Neste tratamento, surgem lamas em excesso que terão de ser removidas do sistema. Estas lamas, denominadas por biológicas ou secundárias têm características diferentes das lamas primárias, pelo que, as estimativas das quantidades geradas, tornam-se importantes para dimensionar os processos jusantes de tratamento, como a estabilização e a desidratação ^[2].

A produção de lamas no tratamento secundário pode ser estimada usando dados empíricos ou cinéticos. Através de dados recolhidos em 18 grandes ETAR nos E. U. A., a produção de lamas activadas para dados empíricos pode ser calculada através da seguinte expressão ^[2] (4 – 3):

$$P_x = P_i + (a \times SSV) + (b \times CBO_s) \quad (4 - 3)$$

Onde:

P_x – Produção diária líquida de lamas, (kg/d);

P_i – Fração de sólidos inertes provenientes do tratamento primário, (kg/d);

a – Constante, (varia entre 0,6 e 0,8);

b – Constante, (varia ente 0,3 e 0,5);

SSV – Sólidos em Suspensão Voláteis provenientes do tratamento primário, (kg/d);

CBO_s – Carência Bioquímica de Oxigénio solúvel proveniente do tratamento primário, (kg/d);

Para dados cinéticos, usa-se ou o conceito de rendimento bacteriano, ou o conceito de massa de sólidos produzidos versus CBO destruída. No caso da utilização da “regra de ouro” o rendimento bacteriano de um processo de lamas activadas pode ser estimado em 0,5 kg de lamas produzidas por kg da CBO destruída.

Para o modelo de lamas activadas de “escoamento em êmbolo” desenvolvido por Lawrence e McCarty em 1970, foi possível definir os coeficientes cinéticos (QUADRO 4.1) medidos em laboratório e estimar as quantidades de lamas produzidas ^[1].

QUADRO 4.1 – COEFICIENTES CINÉTICOS PARA ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS PARA SISTEMAS DE LAMAS ACTIVADAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Coeficientes	Unidades	Valores	
		Gama	Típicos
k	dia ⁻¹	2,0 - 10	5,0
K _s	mg/l CBO ₅	25 - 100	60
	mg/l CQO	15 - 70	40
Y	mg SSV/ mgCBO ₅	0,4 - 0,8	0,5
k _d	dia ⁻¹	0,025 - 0,075	0,06

Onde:

K - Taxa de utilização do substrato por unidade de massa de microrganismos, (*mg/mg.d*);

K_s - Concentração do substrato para a qual a taxa de crescimento observada é metade da máxima taxa de crescimento, (*mg/l*);

Y - Coeficiente de rendimento bacteriano máximo, relativo a um período de tempo durante o crescimento logarítmico, (*mg SSV/mg CBO₅*);

k_d - Coeficiente de respiração endógena, (*d⁻¹*);

Valores de temperatura de referência de 20° C.

A produção de lamas secundárias numa base diária pode ser estimada utilizando a seguinte fórmula ^[1] (4 – 4):

$$P_x = Y_{obs} Q (S_0 - S) \quad (4 - 4)$$

Onde:

P_x - Produção diária líquida de lamas, (kg/d);

Y_{obs} - Rendimento líquido bacteriano;

Q - Caudal afluente ao tratamento secundário, (m³/d);

S - Concentração da CBO₅ solúvel efluente ao tratamento secundário, (mg/l);

S_0 - Concentração da CBO₅ solúvel afluente ao tratamento secundário, (mg/l).

O rendimento líquido bacteriano ou observado é definido pela seguinte expressão ^[1] (4 – 5):

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c} \quad (4 - 5)$$

Onde:

Y_{obs} - Rendimento líquido bacteriano;

Y - Coeficiente de rendimento bacteriano máximo, relativo a um período de tempo durante o crescimento logarítmico, (mg SSV/mg CBO₅);

k_d - Coeficiente de respiração endógena, (d⁻¹);

θ_c - Tempo de retenção de sólidos, (d).

A CBO₅ total no efluente é igual à CBO₅ solúvel adicionada à CBO dos sólidos em suspensão no efluente, ou CBO₅ particulada.

A porção biodegradável dos sólidos em suspensão totais é de 0.65 dos SST:

$$(0,65 \times SST) \quad (4 - 6)$$

A CBO última dos sólidos biológicos biodegradáveis é de $1,42 \text{ mg } O_2$ consumido por mg de células oxidadas, vezes a porção de sólidos biológicos biodegradáveis:

$$(1,42 \times 0,65 \times SST) \quad (4 - 7)$$

A relação entre a CBO última e a CBO_5 é de 0,68;

A CBO_5 particulada dos sólidos em suspensão totais no efluente é de:

$$(0,68 \times 1,42 \times 0,65 \times SST \text{ mg } O_2/l) \quad (4 - 8)$$

A CBO_5 total no efluente é igual à CBO_5 solúvel adicionada de $0,628 SST$

A CBO_5 efluente ao tratamento secundário (S) pode ser determinada segundo a seguinte expressão ^[1] (4 - 6):

$$CBO_5 T_e \cong S + 0,628 SST_e \quad (4 - 9)$$

Onde:

$CBO_5 T_e$ – CBO_5 total efluente ao tratamento secundário, (mg/l);

S – CBO_5 solúvel efluente ao tratamento secundário, (mg/l);

SST_e – SST efluente ao tratamento secundário, (mg/l);

4.2.1 Exemplo de aplicação

Determinar a quantidade de lamas removidas no tratamento secundário, para as seguintes características estudadas no capítulo 7:

- Caudal afluyente ao tratamento secundário: $7.138,00 (m^3/d)$;
- Eficiência de remoção da CBO_5 do tratamento primário: 30,00%.
- Teor da CBO_5 afluyente ao tratamento primário: $370,27 (mg CBO_5/l)$;
- CBO_5 total efluente ao tratamento secundário (CBO_5T_e): $25,00 (mg CBO_5/l)$;
- SST efluente ao tratamento secundário (SST_e): $35,00 (mg SST/l)$;
- $Y : 0,6 (mg SSV/mg CBO_5)$;
- $k_d : 0,06 (d^{-1})$;
- $\theta_c : 10 (d)$.
- Valores de temperatura de referência de 20° C.

Resolução:

Para determinar a estimativa de lamas produzidas (4) no tratamento secundário, determina-se inicialmente (1) o rendimento líquido bacteriano (Y_{obs}), (2) a concentração da CBO_5 solúvel efluente ao tratamento secundário (S), e (3) a concentração da CBO_5 solúvel afluyente ao tratamento secundário (S_0).

(1) – Utilizando a expressão (4 – 5):

$$Y_{obs} = \frac{0,6 (mgSSV/mg CBO_5)}{1 + 10 (d) \times 0,06 (d^{-1})} = 0,375 (mg SSV/mg CBO_5)$$

(2) – Utilizando a expressão (4 – 6):

$$25 (mg CBO_5/l) \cong S + 0,628 \times 35 (mg SST/l)$$

$$S = 3,03 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)}$$

- (3) – A concentração da CBO₅ solúvel (S_0) afluyente ao tratamento secundário, pode ser determinada como sendo a CBO₅ que não foi retido no tratamento primário:

$$S_0 = 370,27 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)} \times (1 - 0,3) = 259,19 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)}$$

- (4) - Utilizando a expressão (4 – 4):

$$P_x = \frac{0,375 \text{ (mgSSV/mgCBO}_5\text{)} \times 7.138,00 \text{ (m}^3\text{/d)} \times (259,19 \text{ (mgCBO}_5\text{/l)} - 3,03 \text{ (mgCBO}_5\text{/l)})}{1.000,00}$$

$$P_x = 685,67 \text{ (kgSSV/d)}$$

5. CONCENTRAÇÕES DOS SÓLIDOS NAS LAMAS

As lamas são constituídas por sólidos fixos (inorgânicos), sólidos voláteis (orgânicos) e água. Para determinar a concentração de sólidos nas lamas será necessário determinar a densidade dos sólidos totais nas mesmas ^[5].

O teor de humidade nas lamas, pode ser determinado por calcular a percentagem de sólidos totais subtraindo 100%.

O teor de sólidos voláteis, pode ser determinado por calcular a percentagem de sólidos fixos (inorgânicos) subtraindo 100%.

Torna-se importante para os operadores das ETAR, as quantidades de sólidos envolvidos nos vários processos de tratamento de modo a estabelecer um registo e um balanço de sólidos, útil para a gestão e eficiências das ETAR. ^[5].

O volume dos sólidos totais nas lamas tem em consideração a massa dos sólidos totais sobre a densidade dos sólidos como se pode ver na seguinte equação ^[5]:

$$V = \frac{M_{ST}}{P_{ST} \times \rho} \quad (5 - 1)$$

Em que:

V = Volume total dos sólidos (m^3);

M_{ST} = Massa de sólidos totais (kg);

P_{ST} = Gravidade específica dos sólidos totais;

ρ = Densidade da água = $1.000 (kg/m^3)$.

A massa de sólidos totais tem em consideração os sólidos fixos e os sólidos voláteis, então a equação ^[5] (5 – 1) pode-se escrever:

$$\frac{M_{ST}}{P_{ST} \times \rho} = \frac{M_{SF}}{P_{SF} \times \rho} + \frac{M_{SV}}{P_{SV} \times \rho} \quad (5 - 2)$$

Em que:

M_{SF} = Massa de sólidos fixos (kg);

M_{SV} = Massa de sólidos voláteis (kg);

P_{SF} = Gravidade específica dos sólidos fixos;

P_{SV} = Gravidade específica dos sólidos voláteis;

A massa das lamas tem em conta a massa dos sólidos totais e a massa da água contida nas lamas, dada pela expressão ^[5] (5 - 3):

$$\frac{M_L}{P_L \times \rho} = \frac{M_{ST}}{P_{ST} \times \rho} + \frac{M_{H_2O}}{P_{H_2O} \times \rho} \quad (5 - 3)$$

Em que:

M_L = Massa de lamas (kg);

M_{ST} = Massa de sólidos totais (kg);

M_{H_2O} = Massa de água (kg);

P_L = Gravidade específica das lamas;

P_{ST} = Gravidade específica dos sólidos totais;

P_{H_2O} = Gravidade específica da água;

ρ = Densidade da água = $1.000 (kg/m^3)$.

A percentagem de sólidos ($\%_{ST}$) nas lamas pode ser calculada através da seguinte equação (5 - 4):

$$\%_{ST} = \frac{M_{ST}}{M_{ST} + M_{H_2O}} \times 100 \quad (5 - 4)$$

E a percentagem de água ($\%_{H_2O}$) nas lamas através da seguinte equação (5 – 5):

$$\%_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M_{ST} + M_{H_2O}} \times 100 \quad (5 - 5)$$

Se a equação (5 – 1) for resolvida em termos de percentagens de sólidos, então a equação (5 – 3) pode ser dividida por $(M_{ST} + M_{H_2O})$, tendo em conta que $M_L = M_{ST} + M_{H_2O}$ [5].

$$\frac{1,0}{P_L \times \rho} = \frac{\%_{ST}}{P_{ST} \times \rho} + \frac{\%_{H_2O}}{P_{H_2O} \times \rho} \quad (5 - 6)$$

5.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Considerando uma concentração de 3,0 kg de sólidos totais nas lamas primárias, qual a concentração de sólidos totais expressa em percentagem?

A percentagem de sólidos nas lamas é obtida através da expressão (5 – 4):

$$\%_{ST} = \frac{3,0 \text{ (kg)}}{100 \text{ (kg)}} \times 100 = 3 \%$$

Ou seja, uma massa de 3kg corresponde a 3% de sólidos totais em 100kg de lamas.

Se os sólidos totais correspondem a 3%, então a restante percentagem (97%) é de água.

Adoptando-se uma percentagem de 60% de sólidos voláteis, os restantes 40% são sólidos fixos.

A percentagem de sólidos voláteis (60%) numa lama com 3,0% de sólidos é de 1,8%, e a percentagem de sólidos fixos é de 1,2%:

$$\%_{SF} = 40\% \text{ em } 3,0\% = 1,2\%$$

$$\%_{SV} = 60\% \text{ em } 3,0\% = 1,8\%$$

Os sólidos fixos têm uma gravidade específica na ordem dos 2,5 (densidade = 2.500 kg/m³), enquanto os sólidos voláteis têm uma gravidade específica na ordem de 1,0 (densidade = 1.000 kg/m³). A Gravidade específica da água poderá adoptar-se como 1,0 (densidade = 1.000 kg/m³).

A gravidade específica pode ser calculada, tendo em conta a expressão (5 – 6) e os valores calculados anteriormente:

$$P_L = \frac{1,0}{\frac{\%_{SF}}{P_{SF}} + \frac{\%_{SV}}{P_{SV}} + \frac{\%_{H_2O}}{P_{H_2O}}} = \frac{1,0}{\frac{1,2\%}{2,5} + \frac{1,8\%}{1,0} + \frac{97,0\%}{1,0}}$$

$$P_L = 1,00725$$

A densidade das lamas calcula-se multiplicando a gravidade específica das lamas pela gravidade específica da água:

$$\rho_L = 1,00725 \times 1.000,00 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 1.007,25 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

Se a concentração de sólidos nas lamas primárias for de 3%, a concentração expressa em kg SST/m³ será de 30,22 kg SST/m³:

$$C_{SST_LP} = \frac{3,0 \text{ (kg SST)}}{100 \text{ kg Lamas}} \times 1.007,25 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 30,22 \text{ (kg SST /m}^3\text{)}$$

6. TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA

O espessamento, a digestão anaeróbia (estabilização) e a desidratação são os principais processos aplicados no tratamento de lamas (FIGURA 6.1). Neste capítulo pretende-se descrever as operações e os processos que são usados para tratar, reduzir o teor de água e matéria orgânica presente nas lamas ^[1].

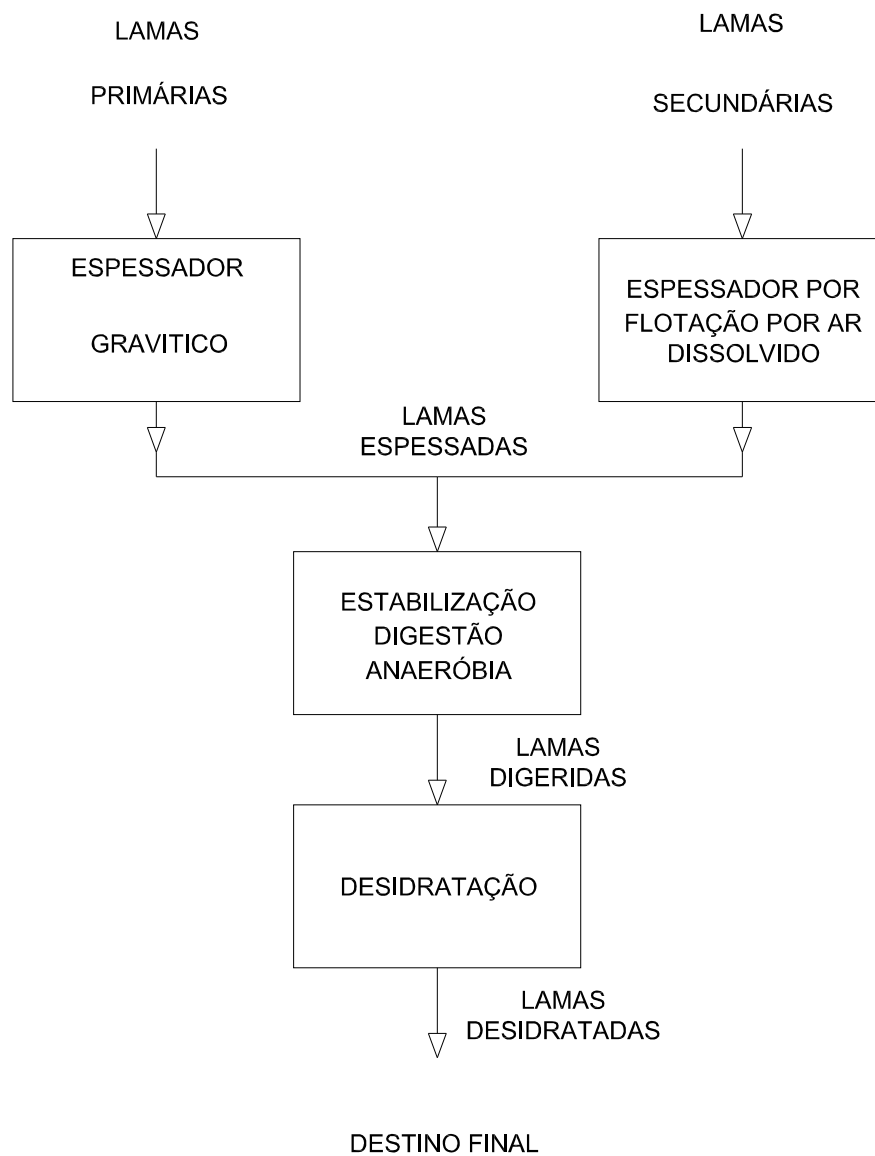


FIGURA 6.1 – ORGANOGrama DO ESQUEMA TIPO DE TRATAMENTO DE LAMAS

6.1 ESPESSAMENTO

O espessamento tem como objectivo remover a água das lamas reduzindo assim o volume. O material resultante continua a ser um fluido ^[1].

As lamas são espessadas fundamentalmente para diminuir os custos de operação e os custos a jusante do processamento das lamas. Ao reduzir de 1 para 2% a percentagem de sólidos, diminui em metade o volume das mesmas ^[1].

Os processos mais comuns de espessamento são: o espessamento gravítico no decantador secundário ou em tanques separados do decantador secundário, flotação por ar dissolvido, centrifugação, por gravidade em filtros de banda, ou em tambores rotativos.

No QUADRO 6.1 apresentam-se algumas considerações resumidas de aplicação.

QUADRO 6.1 – CONSIDERAÇÕES DOS PROCESSOS DE ESPESSAMENTO [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010]

Método	Tipo de sólidos/ lamas	Frequência de uso e considerações
Gravítico, conjunto com o decantador	Lamas primárias e lamas activadas	Aplicação ocasional; impacto negativo no decantador primário
Gravítico, em tanque próprio	Lamas primárias não tratadas	Aplicação mais comum com resultados bons; Pode ser usado com a trituração; produção de odores
	Lamas primárias não tratadas e lamas activadas	Muitas vezes usado; Em pequenas instalações, resultados satisfatórios com concentrações de sólidos entre 4 a 6%. Em grandes instalações concentrações menores. Odores em tempo quente
	Lamas activadas	Raramente aplicado; concentrações de sólidos baixas (2 a 3%)
Flotação por ar dissolvido	Lamas primárias não tratadas e lamas activadas	Uso limitado; resultados semelhantes ao espessador gravítico
	Lamas activadas	Aplicação mais comum, mas com tendência para diminuir devido aos elevados custos de operação; boa concentração de sólidos (3,5 a 5%)

6.1.1 Espessadores gravíticos

O tipo de lama a ser espessada tem um grande efeito na performance do espessamento. Os melhores resultados são obtidos com lamas puramente primárias.

Nas lamas activadas, ao aumentar a proporção de lamas espessadas, o espessamento dos sólidos das lamas diminui. Lamas puramente primárias podem ser espessadas de 1 a 3% até 10%. Uma alternativa a este processo será utilizar o espessamento gravítico para lamas primárias (FIGURA 6.2) e espessamento por flotação por ar dissolvido para lamas activadas. Posteriormente podem-se misturar as lamas espessadas para o próximo passo do tratamento que será a digestão anaeróbia ^[10].

O espessamento gravítico pode ser realizado num tanque semelhante a um decantador convencional, normalmente um tanque circular. As lamas primárias (que podem ser diluídas ou não) são introduzidas num poço de alimentação central. As lamas afluentes são sedimentadas e compactadas, a lama espessada é removida do fundo do tanque e o sobrenadante é removido superficialmente por um descarregador periférico para uma caleira também ela periférica ^[5].

Os critérios de projecto do espessador gravítico encontram-se na QUADRO 6.2.

QUADRO 6.2 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS NO ESPESSADOR GRAITICO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Operação	Concentração de sólidos (%)		Captura de sólidos (%)	
	Gama	Típicos	Gama	Típicos
Espessadores gravíticos				
Lamas primárias	2,0 – 7,0	5,0 – 10	85 – 92	90
Lamas primárias e lamas activadas	4,0 – 7,0	6,0	80 – 90	85

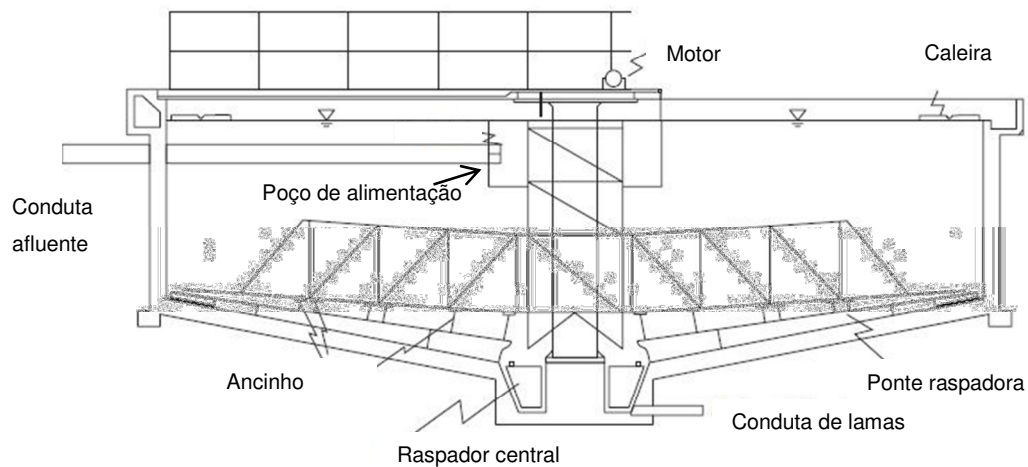


FIGURA 6.2 – ESQUEMA DE ESPESSADOR GRAVÍTICO CIRCULAR [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010]

6.1.2 Espessador por flotação por ar dissolvido

No processo de espessamento de flotação por ar dissolvido (FAD), o ar é submetido a uma pressão de várias atmosferas e dissolvido num reservatório pressurizado juntamente com o sobrenadante ou água tratada. O caudal pressurizado é então admitido, por uma válvula redutora de pressão, no tanque de flotação, onde o ar se liberta da solução sob a forma de bolhas diminutas em todo o volume da água no tanque. As lamas são arrastadas pelas bolhas de ar e formam um manto de lamas à superfície do flotador. O sobrenadante clarificado escoar-se por debaixo do septo do tanque e sobre o descarregador de saída ^[1]. (FIGURA 6.3).

Os espessadores por flotação por ar dissolvido podem ser rectangulares ou circulares. As unidades rectangulares são utilizadas com mais frequência em ETAR onde o espaço é limitado, por serem mais fáceis de enquadrar no espaço disponível. Contudo as unidades circulares têm um custo relativo mais baixo, em termos estruturais e de equipamento, comparativamente às anteriormente descritas ^[1].

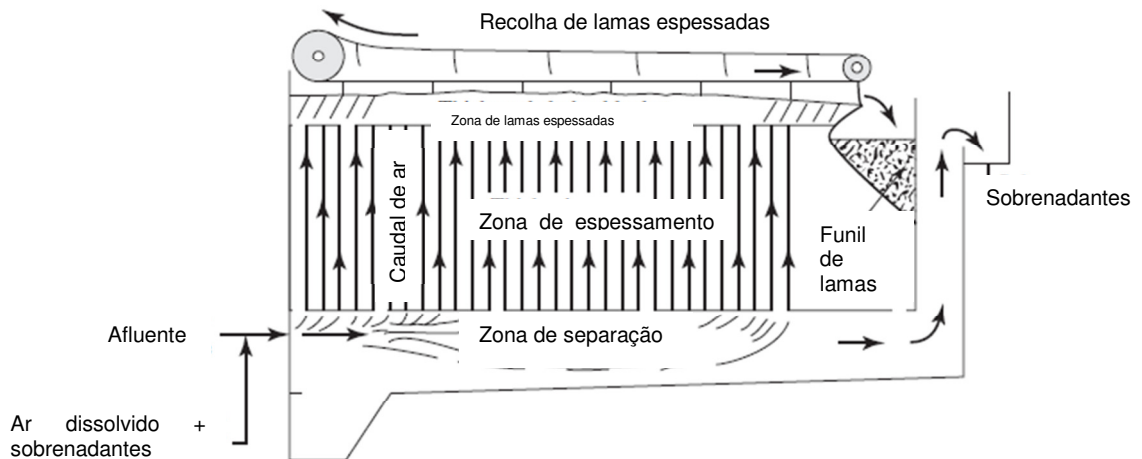


FIGURA 6.3 – ESQUEMA DE ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010]

Nos espessadores por flotação podem ser usadas cargas de sólidos mais elevadas do que nos espessadores gravíticos, devido à rápida separação dos sólidos das lamas. Os espessadores por flotação por ar dissolvido podem funcionar com as cargas de sólidos sem adição de polímero entre 2,0 a 5,0 kg/m².h de área superficial, produzindo lamas espessadas com 3 a 5% de sólidos. Com a adição de polímeros a carga de sólidos pode aumentar entre 50 a 100% aumentado em 0,5 e 1,0% a concentração dos sólidos nas lamas espessadas ^[5]. (QUADRO 6.3).

QUADRO 6.3 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS NO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO DE AR DISSOLVIDO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Operação	Concentração de sólidos (%)		Captura de sólidos (%)	
	Gama	Típicos	Gama	Típicos
Espessadores por flotação por ar dissolvido				
Com produtos químicos	4,0 – 6,0	5,0	90 – 98	95
Sem produtos químicos	3,0 – 5,0	4,0	80 – 95	90

6.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é o método mais comum empregue nas estações de tratamento que usam o sistema de lamas activadas, na degradação da matéria orgânica na ausência de oxigénio livre ^[1].

O processo divide-se em três estágios que são: a hidrólise, a acidogénese e a metanogénese.

No primeiro estágio, hidrólise, as proteínas, lípidos e outros compostos orgânicos complexos são solubilizados, ou seja, são transformados em compostos mais simples, os quais serão usados como fonte de energia e carbono celular.

No segundo estágio, os produtos do primeiro estágio são convertidos em compostos intermédios de baixa massa molecular.

No terceiro estágio, os compostos do segundo estágio são convertidos em compostos simples finais, como o metano e o dióxido de carbono.

O aquecimento durante a digestão aumenta as taxas de crescimento dos microrganismos, a taxa de digestão e a produção de gás. Os digestores de alta carga são operados nas gamas de temperatura mesofílicas (30 a 38 °C) e termofílicas (50 a 60 °C). As variações de temperatura têm uma influência muito negativa nos microrganismos metanogénicos, que podem causar a ruptura do processo ^[1].

A dimensão global da estabilização de lamas pela digestão anaeróbia é tipicamente medida pelo grau de destruição de sólidos voláteis que ocorre ao longo de todo o digestor. Como a digestão anaeróbia é biologicamente controlada e depende do crescimento dos microrganismos, não ocorre uma completa destruição dos sólidos voláteis. São habituais rendimentos de destruição de sólidos da ordem dos 40 a 65% ^[1]. As mais baixas percentagens na destruição de sólidos ocorrem com lamas biológicas ou lamas que contêm concentrações significativas de matérias difíceis de degradar ^[1].

O processo de digestão anaeróbia pode ser de mistura completa ou de dois estágios. Este último é constituído por um digestor anaeróbio de alta carga com mistura completa seguido de um digestor anaeróbio secundário que terá como função proceder ao armazenamento do biogás numa cobertura flutuante (FIGURA 6.4) e fazer a separação dos sobrenadantes e das lamas digeridas.

Os sistemas de digestão de alta carga são caracterizados por aquecimento, agitação auxiliar, espessamento e alimentação uniforme.

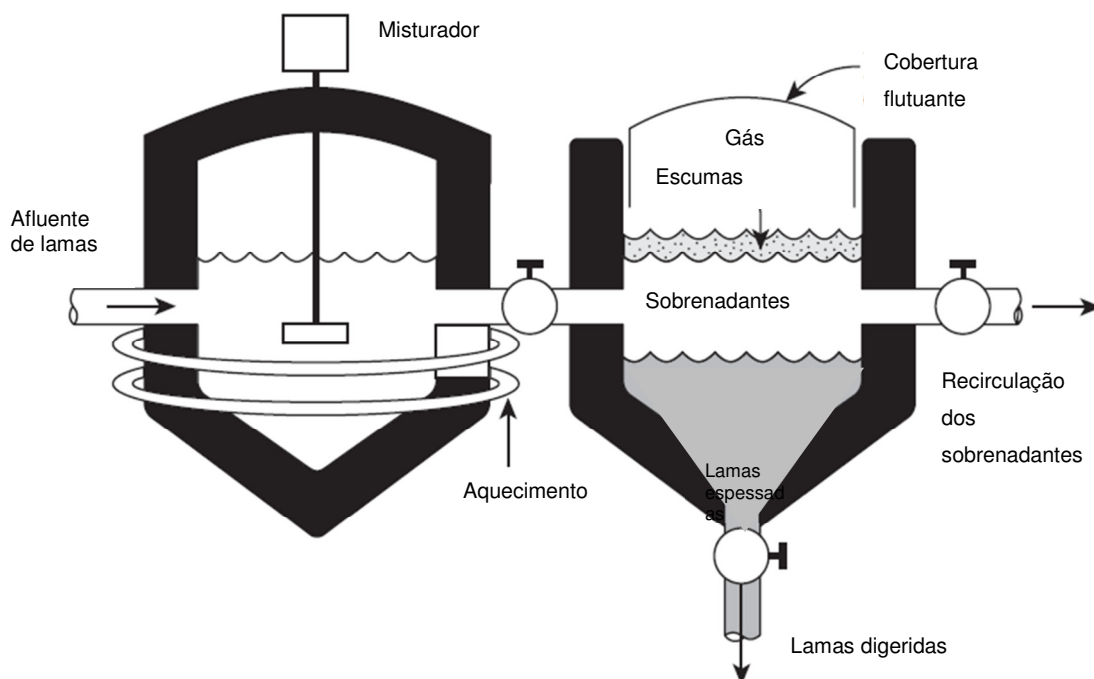


FIGURA 6.4 – ESQUEMA DE DIGESTOR ANAERÓBIO SEGUIDO DE UM DIGESTOR ANAERÓBIO SECUNDÁRIO COM COBERTURA FLUTUANTE [P. AARNE VESILIND, SUSAN M. MORGAN, LAUREN G. HEINE, 2010]

6.3 DESIDRATAÇÃO

A desidratação é um processo físico, que tem como objectivo a remoção de parte da humidade das lamas de modo a reduzir volume e custos inerentes ao transporte e colocação em destino final ^[1].

Existem vários processos de desidratação, sendo os mais usuais os dispositivos mecânicos, de desidratação mais rápida, que ocupam menos espaço, mas aumentam os custos de exploração. Podem ser realizados através de dispositivos de filtração, compressão, separação centrífuga e compactação ^[1].

Onde o espaço disponível não constitui factor limitativo, normalmente em pequenas instalações, pode-se adoptar sistemas naturais de desidratação, nomeadamente leitos e lagoas de secagem ^[1].

6.3.1 Centrifugação

A centrifugação é um método de espessamento das lamas, que geralmente é aplicada na desidratação das lamas biológicas. As centrífugas mais usuais são as de bojo sólido ^[5]. (FIGURA 6.5).

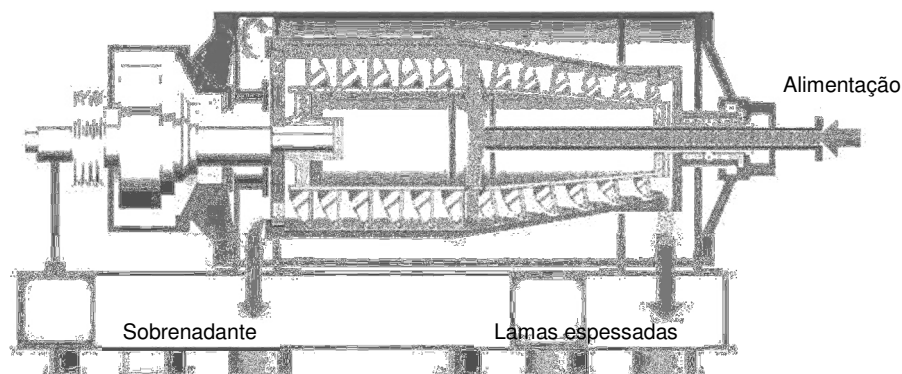


FIGURA 6.5 – CENTRÍFUGA DE NÚCLEO SÓLIDO [TEMA SYSTEMS, INC.]

As centrífugas podem ser utilizadas para desidratar lamas sem utilização de condicionamento químico, mas a captura de sólidos e a qualidade da água clarificada é melhorada consideravelmente quando os sólidos são condicionados com polímeros ^[5].

No QUADRO 6.4 encontram-se as características e as eficiências para as centrífugas de bojo sólido

QUADRO 6.4 – CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS E EFICIÊNCIA NA CAPTURA DE SÓLIDOS PARA AS CENTRÍFUGAS DE BOJO SÓLIDO [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Operação	Concentração de sólidos (%)		Captura de sólidos (%)	
	Gama	Típicos	Gama	Típicos
Centrifugação				
Com produtos químicos	10 – 35	22	85 – 98	90
Sem produtos químicos	10 – 30	18	55 – 90	80

7. BALANÇO DE MASSAS

O balanço de massas estudado é calculado com base no caudal e nas concentrações de cargas poluentes (CBO e SST). É realizado normalmente para dimensionar certas estruturas, como os tanques de armazenamento de lamas e condutas da ETAR. É importante o seu cálculo de modo a determinar o incremento de caudal e de poluentes na ETAR^[2].

Um balanço de massas pode ser desenvolvido com múltiplos materiais que afluem a um sistema (caso de uma ETAR). Pode-se dar o caso em que vários fluxos são combinados de modo a produzirem apenas um fluxo, ou o caso de um fluxo se dividir em vários fluxos dependendo das características dos materiais^[11].

No caso do tratamento de águas residuais, o objectivo é o de separar as cargas poluentes (CBO e SST) do caudal afluente à ETAR.

Ao idealizar um decantador primário (FIGURA 7.1) em que não há alteração, quer de produção, quer de consumo de material, e em que o caudal não se altera com o tempo, é possível escrever o balanço de massas^[11] (7 – 1):

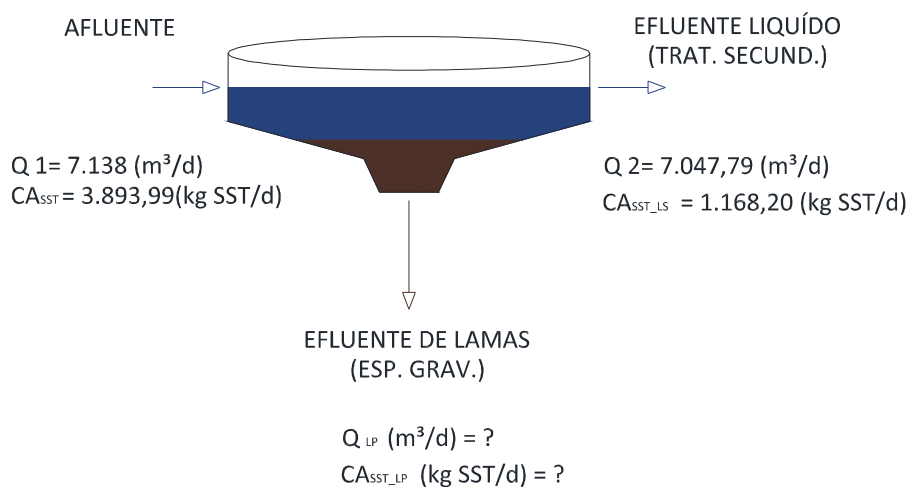


FIGURA 7.1 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO DECANTADOR PRIMÁRIO

$$\begin{aligned} [\textit{Volume}]_{\textit{Acumulado}} &= [\textit{Volume}]_{\textit{Afluyente}} - [\textit{Volume}]_{\textit{Efluyente}} \\ &+ [\textit{Volume}]_{\textit{Produzido}} - [\textit{Volume}]_{\textit{Consumido}} \end{aligned} \quad (7 - 1)$$

7.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

De acordo com a FIGURA 7.1, para determinar o caudal de lamas primárias removidas e a concentração das lamas, aplica-se a expressão (7 – 1) do balanço de massas.

Para o caudal de lamas primárias:

$$0 = 7.138,00 - [7.047,79 + Q_{LP}] + 0 - 0$$

$$Q_{LP} = 90,21 \text{ (m}^3/\text{d)}$$

Para a concentração de lamas primárias:

$$0 = 3.893,99 - [1.168,20 + CA_{SST_LP}] + 0 - 0$$

$$CA_{SST_LP} = 2.725,80 \text{ (kg SST/m}^3\text{)}$$

A eficiência de captura de lamas pode ser calculada dividindo a concentração das lamas primárias pela concentração inicial do afluyente multiplicando por 100:

$$\eta_{SST_LP} = \frac{2.725,80}{3.893,99} \times 100 \cong 70\%$$

Para o dimensionamento aproximado do balanço de massas, são necessárias informações acerca da eficiência das operações envolvidas no tratamento das lamas (apresentadas nos processos de tratamento da fase sólida), bem como dos valores representativos da concentração da CBO e SST nos sobrenadantes.

Para as operações de tratamento de lamas em ETAR dos Estados Unidos da América, as cargas poluentes nos sobrenadantes encontram-se resumidos no QUADRO 7.1. Estes valores são apresentados como uma aproximação da realidade, pelo facto das condições locais terem um efeito significativo na sua variação ^[2].

QUADRO 7.1 - CONCENTRAÇÃO DA CBO E SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NOS SOBRENADANTES PARA AS OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE LAMAS [ADAPTADO, METCALF & EDDY, 1991]

Operação	CBO (mg/l)		SST (mg/l)	
	Gama	Típicos	Gama	Típicos
Espessadores gravíticos				
Lamas primárias	100 – 400	250	80 – 300	200
Lamas primárias e lamas activadas	60 – 400	300	100 – 350	250
Espessadores por flotação por ar dissolvido	50 – 400	250	100 – 600	300
Digestão Anaeróbia				
Standart	500 – 1.000	800	1.000 – 1.500	3.000
Alta carga	2.000 – 5.000	4.000	1.000 – 10.000	6.000
Centrifugação	1.000 – 10.000	5.000	2.000 – 10.000	5.000

7.2 DADOS BASE

De modo a construir o balanço de massas, considerou-se os dados base do projecto ABRANTINA TAMAP da ETAR de Portalegre (QUADRO 7.2).

QUADRO 7.2 – CAUDAL E CARGAS POLUENTES AFLUENTES DE DIMENSIONAMENTO

CAUDAL MÉDIO DIÁRIO	m ³ /d	7.138,00
TEOR DE SST	mg SST/l	545,53
TEOR DA CBO	mg CBO ₅ /l	370,27
CARGA DE SST	kg SST/d	3.893,99
CARGA DA CBO	kg CBO ₅ /d	2.642,99

De modo a permitir que a ETAR respeite a legislação em vigor à data, os requisitos necessários para a CBO e/ ou SST no efluente, são:

- CBO₅ total efluente ao tratamento secundário (CBO_{5T_e}): 25,00 (mg CBO₅/l);
- SST efluente ao tratamento secundário (SST_e): 35,00 (mg SST/l);
- Temperatura de funcionamento: 20^o C;

Carga de SST à saída da ETAR = Teor de SST à saída da ETAR x Caudal de dimensionamento:

$$CA_{SST_e} = T_{SST_e} \times Q = 35,00 \text{ (mg SST/l)} / 1.000,00 \times 7.138,00 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

$$CA_{SST_e} = 249,83 \text{ (kg SST/d)}$$

O exemplo de aplicação apresentado de seguida baseia-se num caudal constante ao longo do tempo, sem flutuações nas características das águas residuais, quer por alterações na contribuição industrial, caudais pluviais e variações sazonais das condições meteorológicas.

7.3 1ª ITERAÇÃO

7.3.1 Cargas poluentes

As cargas poluentes afluentes são calculadas através das características das águas residuais, nomeadamente os teores da CBO e SST, tendo em conta que não será considerado qualquer eficiência de remoção de poluentes no tratamento preliminar. As cargas poluentes de dimensionamento para o tratamento primário são as seguintes:

- Carga de SST = Caudal de dimensionamento × Teor de SST de dimensionamento:

$$CA_{SST} = Q_{dim} \times T_{SST} = 7.138,00 \text{ (m}^3/d) \times \frac{545,53}{1.000,00} \text{ (kg SST/m}^3)$$

$$CA_{SST} = 3.893,99 \text{ (kg SST/d)}$$

- Carga da CBO = Caudal de dimensionamento × Teor da CBO de dimensionamento:

$$CA_{CBO} = Q_{dim} \times T_{CBO} = 7.138,00 \text{ (m}^3/d) \times \frac{370,27}{1.000,00} \text{ (kg CBO/m}^3)$$

$$CA_{CBO} = 2.642,99 \text{ (kg CBO/d)}$$

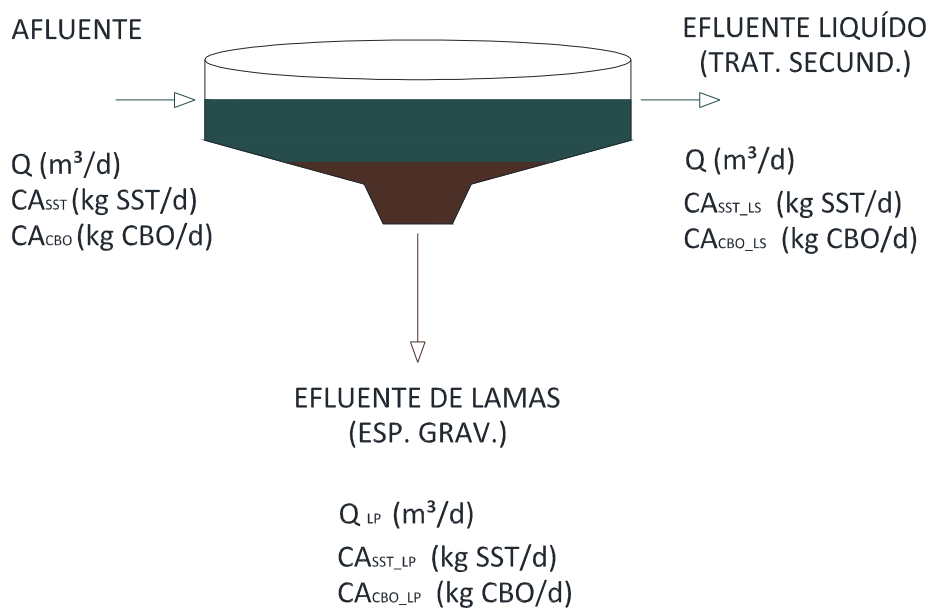
7.3.2 Tratamento Primário

Os parâmetros de operação do tratamento primário encontram-se resumidos no QUADRO 7.3.

QUADRO 7.3 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO

EFICIÊNCIAS DA FASE LÍQUIDA		
Remoção de SST	(%)	70,00%
Remoção da CBO	(%)	30,00%
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS		
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	3,00%
Sólidos Voláteis	(%)	60,00%
Sólidos Fixos	(%)	40,00%

O esquema do balanço de massas no tratamento primário é o que se apresenta na FIGURA 7.2:

**FIGURA 7.2 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO TRATAMENTO PRIMÁRIO**

A Carga de SST removida nas lamas primárias = Carga de SST de dimensionamento \times Eficiência na remoção de SST:

$$CA_{SST_LP} = CA_{SST} \times \eta_{SST} = 3.893,99 \text{ (kg SST/d)} \times 0,7$$

$$CA_{SST_LP} = 2.725,80 \text{ (kg SST/d)}$$

A Carga da CBO removida nas lamas primárias = Carga da CBO de dimensionamento \times Eficiência na remoção da CBO:

$$CA_{CBO_LP} = CA_{CBO} \times \eta_{CBO} = 2.642,99 \text{ (kg CBO/d)} \times 0,30$$

$$CA_{CBO_LP} = 792,90 \text{ (kg CBO/d)}$$

De modo a determinar o caudal de lamas primárias (m^3/d), divide-se a carga de sólidos totais ($kg\ SST/d$), pela concentração de sólidos totais nas lamas ($kg\ SST/m^3$) (Anexo II):

O Caudal de lamas primárias = Carga de SST removidas nas lamas primárias / Concentração de sólidos totais nas lamas primárias:

$$Q_{LP} = CA_{SST_LP} / C_{SST_LP} = 2.725,80 \text{ (kg SST/d)} / 30,22 \text{ (kg SST/m}^3\text{)}$$

$$Q_{LP} = 90,21 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

No QUADRO 7.4 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos ao tratamento primário.

QUADRO 7.4 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - TRATAMENTO PRIMÁRIO		
CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS AFLUENTES		
Caudal médio	(m^3/d)	7.138,00
Teor de SST	(mg SST/l)	545,53
Teor da CBO	(mg CBO/l)	370,27
Carga de SST	(kg SST/d)	3.893,99
Carga da CBO	(kg CBO/d)	2.642,99
EFICIÊNCIAS DA FASE LÍQUIDA		
Remoção de SST	(%)	70,00%
Remoção da CBO	(%)	30,00%

QUADRO 7.4 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO (CONT.)

CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS EFLUENTES		
Caudal médio	(m ³ /d)	7.047,79
Teor de SST	(mg SST/l)	163,66
Teor da CBO	(mg CBO/l)	259,19
Carga de SST	(kg SST/d)	1.168,20
Carga da CBO	(kg CBO/d)	1.850,09
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	2.725,80
Carga da CBO	(kg CBO/d)	792,90
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	3,00%
Concentração dos SST	(kg SST/m ³)	30,22
Caudal	(m ³ /d)	90,21

7.3.3 Espessamento gravítico

Os parâmetros de operação relativos ao espessamento gravítico encontram-se resumidos no QUADRO 7.5.

QUADRO 7.5 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO ESPESSADOR GRAVÍTICO

CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS		
Captura de SST	(%)	90,00%
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	6,00%
Sólidos Voláteis	(%)	60,00%
Sólidos Fixos	(%)	40,00%
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Relação CBO5/SST das lamas espessadas	(%)	50,00%

O esquema do balanço de massas no espessador gravítico é apresentado na FIGURA 7.3:

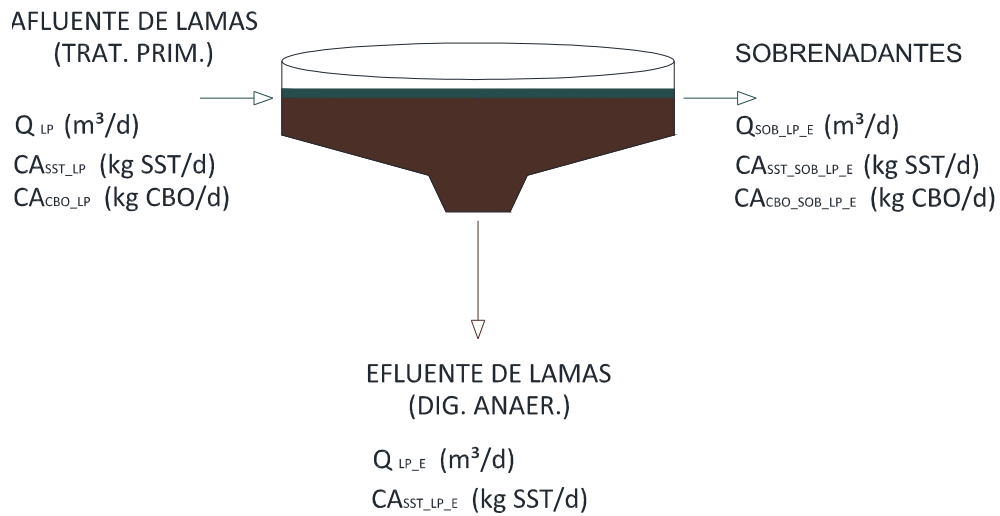


FIGURA 7.3 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NO ESPESSADOR GRAVÍTICO

Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas = Carga de SST do decantador primário × Eficiência na captura de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_LP_E} = CA_{SST_LP} \times \eta_{SST} = 2.725,80 \text{ (kg SST/d)} \times 0,90$$

$$CA_{SST_LP_E} = 2.453,22 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas primárias espessadas = Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas / Concentração de sólidos totais nas lamas primárias espessadas (Anexo II):

$$Q_{LP_E} = CA_{SST_LP_E} / C_{SST_LP_E} = 2.453,22 \text{ (kg SST/d)} / 60,88 \text{ (kg SST/m}^3\text{)}$$

$$Q_{LP_E} = 40,30 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.3.3.1 Sobrenadantes do espessador gravítico

No espessador gravítico, a eficiência de 90 % na captura das lamas, faz com que os restantes 10 % resultem num sobrenadante que será encaminhado para a linha de tratamento da fase líquida.

Caudal de sobrenadantes resultantes do espessamento gravítico = Caudal de lamas primárias – caudal de lamas espessadas:

$$Q_{SOB_LP_E} = Q_{LP} - Q_{LP_E} = 90,21 (m^3/d) - 40,30 (m^3/d)$$

$$Q_{SOB_LP_E} = 49,91 (m^3/d)$$

Carga de SST nos sobrenadantes = Carga de SST do decantador primário – Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas:

$$CA_{SST_SOB_LP_E} = CA_{SST_LP} - CA_{SST_LP_E}$$

$$CA_{SST_SOB_LP_E} = 2.725,80(kg SST/d) - 2.453,22 (kg SST/d) = 272,58 (kg SST/d)$$

Tendo em conta que parte da CBO é recirculada para a entrada da ETAR, poder-se à assumir que a relação entre a CBO e os SST é na ordem dos 50 %.

Carga da CBO nos sobrenadantes = Carga de SST nos sobrenadantes x 50 %:

$$CA_{CBO_SOB_LP_E} = CA_{SST_SOB_LP_E} \times 0,50$$

$$CA_{CBO_SOB_LP_E} = 272,58 (kg SST/d) \times 0,50 = 136,29 (kg CBO/d)$$

No QUADRO 7.6 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos ao espessamento gravítico.

QUADRO 7.6 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO ESPESSADOR GRAVITICO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - ESPESSADOR GRAVITICO		
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS AFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	2.725,80
Carga da CBO	(kg CBO/d)	792,90
Caudal	(m³/d)	90,21
EFICIÊNCIAS DA FASE SÓLIDA		
Captura de SST	(%)	90,00%
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	2.453,22
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	6,00%
Concentração dos SST	(kg SST/m³)	60,88
Caudal	(m³/d)	40,30
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	272,58
Relação CBO5/SST das lamas espessadas	(%)	50,00%
Carga da CBO	(kg CBO/d)	136,29
Caudal	(m³/d)	49,91

7.3.4 Tratamento Secundário

Os parâmetros de operação do tratamento secundário encontram-se resumidos no QUADRO 7.7.

QUADRO 7.7 – PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO

CARACTERÍSTICAS DO REACTOR		
Sólidos Voláteis	(%)	80,00%
Tempo de retenção de sólidos (θ_c)	(dias)	10,00
Coefficiente de rendimento bacteriano máximo (Y)	(mg SSV/mg CBO)	0,60
SST no Tanque de arejamento	(mg SST/l)	4.000,00
Coefficiente de respiração endógena (kd)	(dia ⁻¹)	0,06
CARACTERÍSTICAS DO TANQUE DE SEDIMENTAÇÃO		
SST no Tanque de sedimentação (Xr)	(mg SST/l)	10.000,00

O esquema do balanço de massas no tratamento secundário apresenta-se na FIGURA 7.4.

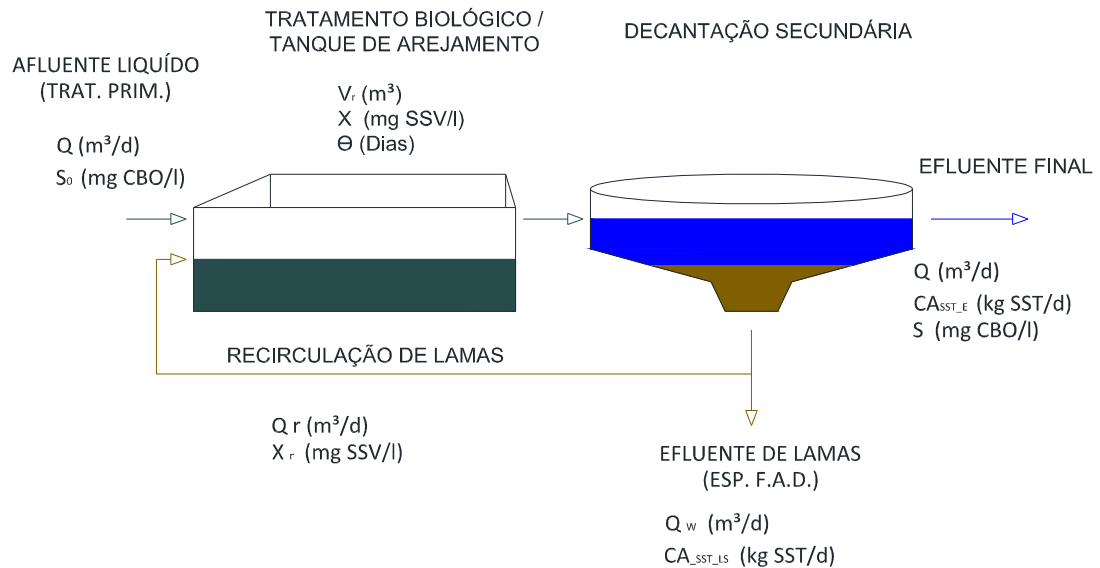


FIGURA 7.4 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Assume-se que o caudal afluente ao tratamento secundário é o mesmo que aflui ao tratamento primário.

A determinação de lamas que serão removidas diariamente do tratamento secundário é idêntica ao exemplo de aplicação 4.2.1.

– Utilizando a expressão (4 – 5):

$$Y_{obs} = \frac{0,6 (mgSSV/mg\ CBO_5)}{1 + 10 (d) \times 0,06 (d^{-1})} = 0,375 (mg\ SSV/mg\ CBO_5)$$

– Utilizando a expressão (4 – 9):

$$25 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)} \cong S + 0,628 \times 35 \text{ (mg SST/l)}$$

$$S = 3,03 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)}$$

– A concentração da CBO₅ solúvel (S_0) afluyente ao tratamento secundário, pode ser determinada como sendo a CBO₅ que não foi retida no tratamento primário:

$$S_0 = 370,27 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)} \times (1 - 0,3) = 259,19 \text{ (mg CBO}_5\text{/l)}$$

- Utilizando a expressão (4 – 4):

$$P_x = \frac{0,375 \text{ (mgSSV/mgCBO}_5\text{)} \times 7.138,00 \text{ (m}^3\text{/d)} \times (259,19 \text{ (mgCBO}_5\text{/l)} - 3,03 \text{ (mgCBO}_5\text{/l)})}{1.000,00}$$

$$P_x = 685,67 \text{ (kgSSV/d)}$$

Como a produção de lamas removidas diariamente é em SS, o incremento de SST produzidos no tanque de arejamento = O incremento de SSV produzidos no tanque de arejamento dividindo pela percentagem de sólidos voláteis (80%):

$$P_{x_SST} = P_{x_SSV} / 0,80$$

$$P_{x_SST} = 685,67 \text{ (kgSSV/d)} / 0,80 = 857,08 \text{ (kgSST/d)}$$

Carga de SST para espessamento = Incremento de SST no tanque de arejamento

– Carga no efluente:

$$CA_{SST_LS} = P_{x_SST} - CA_{SST_e} = 857,08 \text{ (kg SST/d)} - 249,83 \text{ (kg SST/d)}$$

$$CA_{SST_LS} = 607,25 \text{ (kg SST/d)}$$

O caudal das lamas em excesso removido do circuito de recirculação é calculado através da equação (I – 35) do Anexo I:

$$Q_w = \frac{P_{x_SST}}{X_r} = \frac{857,08 \text{ (kgSST/d)}}{10,00 \text{ (kgSST/m}^3\text{)}} = 85,71 \text{ (m}^3\text{/dia)}$$

No QUADRO 7.8 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos ao tratamento secundário.

QUADRO 7.8 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - TRATAMENTO SECUNDÁRIO		
CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS AFLUENTES		
Caudal médio	(m ³ /d)	7.138,00
Teor de SST	(mg SST/l)	163,66
Teor da CBO	(mg CBO/l)	259,19
Carga de SST	(kg SST/d)	1.168,20
Carga da CBO	(kg CBO/d)	1.850,09
PARÂMETROS DE PROJECTO		
Tempo de retenção de sólidos (θc)	(dias)	10,00
Coeficiente de rendimento bacteriano máximo (Y)	(mg SSV/mg CBO)	0,60
Concentração do substrato no efluente (S)	(mg CBO/l)	3,03
Concentração do substrato no afluente (S ₀)	(mg CBO/l)	259,19
SST no Tanque de arejamento (X)	(mg SST/l)	4.000,00
SSV no Tanque de arejamento (X)	(mg SSV/l)	3.200,00
SST no Tanque de sedimentação (X _r)	(mg SST/l)	10.000,00
SSV no Tanque de sedimentação (X _r)	(mg SSV/l)	8.000,00
Coeficiente de respiração endógena (k _d)	(dia ⁻¹)	0,06
Rendimento bacteriano observado (Y _{obs})	(mg SSV)/(mg CBO)	0,3750
Volume do Tanque de arejamento	(m ³)	2.142,71
Incremento de SSV produzidos no tanque de arejamento	(kg SSV/d)	685,67
Incremento de SST produzidos no tanque de arejamento	(kg SST/d)	857,08

QUADRO 7.8 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO TRATAMENTO SECUNDÁRIO (CONT.)

CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUAIS EFLUENTES		
Caudal médio	(m ³ /d)	7.138,00
Teor de SST	(mg SST/l)	35,00
Teor da CBO	(mg CBO/l)	25,00
Carga de SST	(kg SST/d)	249,83
Carga da CBO	(kg CBO/d)	178,45
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Caudal de lamas em excesso		
a partir do reactor biológico	(m ³ /d)	214,27
a partir do circuito de recirculação	(m ³ /d)	85,71
Caudal de recirculação de lamas activadas	(m ³ /d)	4.615,82
Carga de SST	(kg SST/d)	607,25

7.3.5 Espessador por flotação por ar dissolvido

Os parâmetros de operação do espessador por flotação por ar dissolvido encontram-se resumidos no QUADRO 7.9.

QUADRO 7.9 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS		
Captura de SST	(%)	90,00%
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	4,00%
Sólidos Voláteis	(%)	80,00%
Sólidos Fixos	(%)	20,00%

O esquema do balanço de massas no espessamento por flotação por ar dissolvido apresenta-se na FIGURA 7.5.

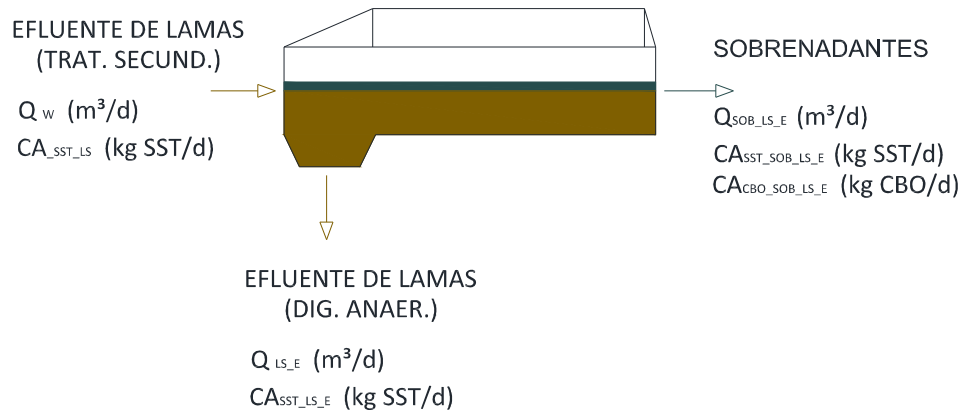


FIGURA 7.5 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

Carga de SST removidas nas lamas secundárias espessadas = Carga de SST do decantador secundário \times Eficiência na captura de SST:

$$CA_{SST_LS_E} = CA_{SST_LS} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_LS_E} = 607,25 \text{ (kg SST/d)} \times 0,90 = 546,53 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas secundárias espessadas = Carga de SST removidas nas lamas secundárias espessadas / Concentração de sólidos totais nas lamas secundárias espessadas (Anexo II):

$$Q_{LS_E} = CA_{SST_LS_E} / C_{SST_LS_E}$$

$$Q_{LS_E} = 546,53 \text{ (kg SST/d)} / 40,19 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 13,60 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.3.5.1 Sobrenadantes do espessador por flotação por ar dissolvido

Caudal de sobrenadante do FAD = Caudal de lamas secundárias removidas –
Caudal das lamas secundárias espessadas

$$Q_{SOB_{LS_E}} = Q_W - Q_{LS_E}$$

$$Q_{SOB_{LS_E}} = 85,71 (m^3/d) - 13,60 (m^3/d) = 72,11 (m^3/d)$$

Carga de sólidos em suspensão totais do sobrenadante do FAD = Carga de sólidos em suspensão totais a descarregar para o espessador – Carga de sólidos em suspensão totais das lamas secundárias espessadas:

$$CA_{SST_{SOB_{LS_E}}} = CA_{SST_{LS}} - CA_{SST_{LS_E}}$$

$$CA_{SST_{SOB_{LS_E}}} = 607,25 (kg SST/d) - 546,53 (kg SST/d) = 60,73 (kg SST/d)$$

Concentração dos SST nos sobrenadantes = Carga de SST recirculados para a entrada da ETAR / Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR:

$$C_{SST_{SOB_{LS_E}}} = CA_{SST_{SOB_{LS_E}}} / Q_{SOB_{LS_E}}$$

$$C_{SST_{SOB_{LS_E}}} = 60,73 (kg SST/d) / 72,11 (m^3/d) = 842,11 (mg SST/l)$$

Para se determinar a CBO₅ total nos sólidos em suspensão recirculados, será necessário calcular a concentração de sólidos em suspensão na recirculação e a carga da CBO₅ particulada nos sólidos recirculados.

Parte biodegradável dos sólidos em suspensão totais (equação 4 – 8):

$$CBO_{5_{SST_{LS_E}}} = C_{SST_{SOB_{LS_E}}} \times 0,628$$

$$CBO_{5,SST,LS,E} = 842,11 \text{ (mg SST/l)} \times 0,628 = 528,54 \text{ (mg CBO/l)}$$

Através da equação (4 – 9), determina-se a CBO_5 total nos sólidos em suspensão recirculados:

$$CBO_{5T_e} \cong S + 0,628 SST_e$$

$$CBO_{5T_e} \cong 3,03 \text{ (mg CBO/l)} + 528,54 \text{ (mg CBO/l)} = 531,58 \text{ (mg CBO/l)}$$

Carga da CBO_5 nos sobrenadantes = Carga da CBO_5 total nos SST / Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR:

$$CA_{SOB_CBO} = CBO_{5T} / Q_{SOB_LS_E}$$

$$CA_{SOB_CBO} = \frac{531,58 \text{ (mg CBO/l)}}{1.000,00} / 72,11 \text{ (m}^3\text{/d)} = 38,33 \text{ (kg CBO/m}^3\text{)}$$

No QUADRO 7.10 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos ao espessador por flotação por ar dissolvido.

QUADRO 7.10 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - ESPESSADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO		
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS AFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	607,25
Caudal médio	(m ³ /d)	85,71
EFICIÊNCIAS DA FASE SÓLIDA		
Captura de SST	(%)	90,00%

QUADRO 7.10 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO ESPESADOR POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (CONT).

CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	546,53
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	4,00%
Concentração dos SST	(kg SST/m ³)	40,19
Caudal	(m ³ /d)	13,60
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	60,73
Carga da CBO	(kg CBO/d)	38,33
Caudal	(m ³ /d)	72,11
Teor de SST	(mg SST/l)	842,11
Teor da CBO dos sólidos em suspensão	(mg CBO/l)	528,54
Teor da CBO solúvel á saída da ETAR	(mg CBO/l)	3,03
Teor da CBO Total do líquido recirculado	(mg CBO/l)	531,58

7.3.6 Digestão anaeróbia

Os parâmetros de operação do digester anaeróbio encontram-se resumidos no QUADRO 7.11.

QUADRO 7.11 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO DIGESTOR ANAERÓBIO

Tempo de retenção de sólidos	(dias)	10,00
% de sólidos voláteis destruídos durante a digestão	(%)	50,00%
Teor da CBO5 no líquido sobrenadante	(mg CBO/l)	5.000,00
Teor de SST no líquido sobrenadante	(mg SST/l)	5.000,00
% de SST nas lamas digeridas	(%)	5,50%
Peso volúmico do biogás	(kg/m ³)	1,04
Produção específica de biogás	(m ³ /kg SSV)	1,12

O esquema do balanço de massas no digester anaeróbio apresenta-se na FIGURA 7.6.

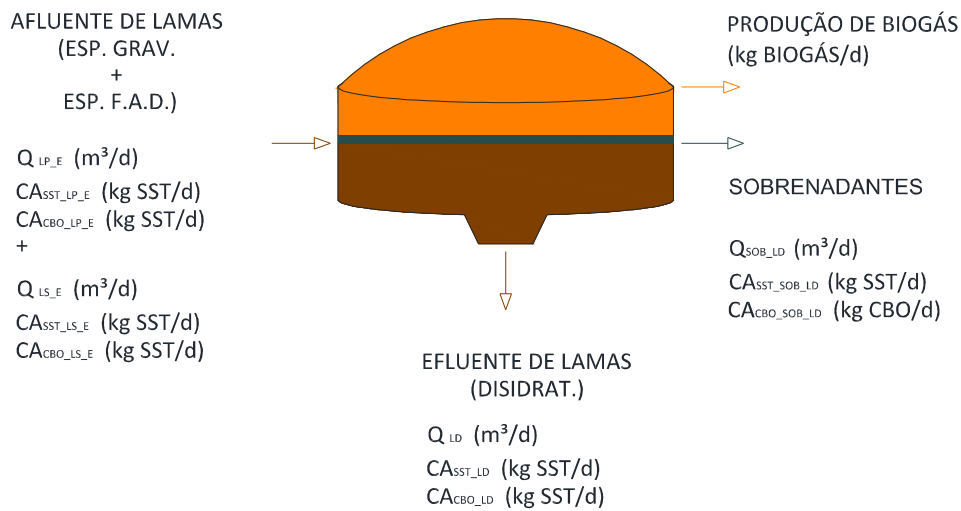


FIGURA 7.6 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSAS NO DIGESTOR ANAERÓBIO

Carga de SST lamas digeridas anaerobiamente = Carga de SST das lamas primárias espessada + Carga de SST lamas secundárias espessada:

$$CA_{SST,LDA} = CA_{SST,LP,E} + CA_{SST,LS,E}$$

$$CA_{SST,LDA} = 2.453,22 \text{ (kg SST/d)} + 546,53 \text{ (kg SST/d)} = 2.999,74 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas digeridas anaerobiamente = Caudal de lamas primárias espessadas + Caudal de lamas secundárias espessadas:

$$Q_{LDA} = Q_{LP,E} + Q_{LS,E}$$

$$Q_{LDA} = 40,30 \text{ (m}^3\text{/d)} + 13,60 \text{ (m}^3\text{/d)} = 53,90 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente = Carga de SST das lamas primárias espessadas x 65,00 % + Carga de SST lamas secundárias espessadas x 80,00 %:

$$CA_{SSV,LDA} = CA_{SST,LP,E} \times 0,65 + CA_{SST,LS,E} \times 0,80$$

$$CA_{SSV_LDA} = 2.453,22 \text{ (kg SST/d)} \times 60,00 \% + 546,53 \text{ (kg SST/d)} \times 80,00\% \\ = 1.909,15 \text{ (kg SSV/d)}$$

Percentagem dos sólidos voláteis na mistura de lamas digeridas anaerobiamente =
Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente / Carga de SST de lamas
digeridas anaerobiamente:

$$\% SSV_{LDA} = (CA_{SSV_DL} / CA_{SST_DL}) \times 100$$

$$\% SSV_{DLA} = (1.909,15 \text{ (kg SSV/d)} / 2.999,74 \text{ (kg SST/d)}) \times 100 = 63,64\%$$

Sólidos voláteis destruídos = Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente x
Percentagem de sólidos voláteis destruídos durante a digestão:

$$SSV_{LDA} = CA_{SSV_DL} \times 50 \%$$

$$SSV_{LDA} = 1.909,15 \text{ (kg SSV/d)} \times 0,50 = 954,58 \text{ (kg SSV/d)}$$

Quantidade de lamas primárias espessadas com 6,0 % de sólidos = Carga de SST
no espessador gravítico / % de concentração dos SST nas lamas primárias
espessadas:

$$LP_{6\% \text{ SST}} = CA_{SST_LP_E} / 6,0\%$$

$$LP_{6\% \text{ SST}} = 2.453,22 \text{ (kg SST/d)} / 0,06 = 40.886,93 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

Quantidade de lamas secundárias espessadas com 4,0 % de sólidos = Carga de
SST lamas secundárias espessadas / % de concentração dos SST nas lamas
primárias espessadas:

$$LS_{4\% \text{ SST}} = CA_{SST_LS_E} / 4,0\%$$

$$LS_{4\% SST} = 546,53 \text{ (kg SST/d)} / 0,04 = 13.663,20 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

Quantidade de lamas primárias e lamas activadas espessadas = Quantidade de lamas primárias espessadas com 6,0 % de sólidos + Quantidade de lamas secundárias espessadas com 4,0 % de sólidos:

$$LDA = LP_{6\% SST} + LS_{4\% SST}$$

$$LDA = 40.886,93 \text{ (kg LAMAS/d)} + 13.663,20 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

$$LDA = 54.550,13 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

A massa total de sólidos fixos não se altera durante a digestão.

Quantidade de sólidos fixos nas lamas digeridas = Carga de SST de lamas digeridas anaerobiamente – Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente:

$$CA_{SF_LDA} = CA_{SST_LDA} - CA_{SSV_LDA}$$

$$CA_{SF_LDA} = 2.999,74 \text{ (kg SST/d)} - 1.909,15 \text{ (kg SSV/d)} = 1.090,59 \text{ (kg SF/d)}$$

Quantidade de sólidos totais na lama em digestão (sólidos nas lamas e nos sobrenadantes) = Quantidade de sólidos fixos nas lamas digeridas + (1 – Percentagem de sólidos voláteis destruídos durante a digestão) x Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente:

$$CA_{ST_LDA} = CA_{SF_DL} + (1 - 50\%) \times CA_{SSV_DL}$$

$$CA_{ST_LDA} = 1.090,59 \text{ (kg SF/d)} + (1 - 0,50) \times 1.909,15 \text{ (kg SSV/d)}$$

$$= 2.045,17 \text{ (kg ST/d)}$$

7.3.6.1 Produção de biogás

Tendo em conta que a densidade do gás produzido é 0,86 da densidade do ar (1.204,00 (kg / m³)).

Peso volúmico do biogás = Densidade do gás x Densidade do ar:

$$\rho_{biogás} = 0,86 \times \rho_{ar}$$

$$\rho_{biogás} = 0,86 \times 1,204 \text{ (kg/m}^3\text{)} = 1,04 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Produção total de biogás = Produção específica de biogás x Peso volúmico do biogás x Sólidos voláteis destruídos:

$$Biogás = Produção\ específica\ biogás \times \rho_{biogás} \times SSV_{DL,D}$$

$$Biogás = 1,12 \text{ (m}^3\text{/kg SSV)} \times 1,04 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 954,58 \text{ (kg SSV/d)}$$

$$= 1.107,01 \text{ (kg BIOGÁS/d)}$$

7.3.6.2 Balanço mássico do digestor

Massa de Lamas removidas = Massa de lamas à entrada do digestor – Massa de lamas digeridas (gás):

$$L_{SOB_SST_LDA} = LDA - Biogás$$

$$L_{SOB_SST_LDA} = 54.550,13 \text{ (kg LAMAS/d)} - 1.107,01 \text{ (kg BIOGÁS/d)}$$

$$= 53.443,11 \text{ (kgLamas/d)}$$

Nas lamas que saem, uma parte vai para o sobrenadante, outra para o tratamento de lamas

Massa de lamas removidas (z)= massa de lamas para desidratação (Y) + sobrenadantes (X):

$$\frac{x}{\%} + \frac{y-x}{\%} = Z$$

$$\frac{x}{0,005} + \frac{2.045,17 \text{ (kg ST/d)} - x}{0,055} = 53.443,11 \text{ (kg Lamas / d)}$$

$$x = CA_{SST_SOB_LDA} = 89,42 \text{ (kg SST / d)}$$

Carga de SST nas lamas digeridas = Sólidos totais nas lamas em digestão – sólidos nos sobrenadantes:

$$CA_{SST_LDA} = CA_{ST_LDA} - CA_{SST_SOB_LDA}$$

$$CA_{SST_LDA} = 2.045,17 \text{ (kg ST/d)} - 89,42 \text{ (kg SST/d)} = 1.955,75 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas digeridas = Carga de SST nas lamas digeridas / Concentração de SST nas lamas digeridas (Anexo II):

$$Q_{LDA} = CA_{SST_LD} / C_{SST_LD}$$

$$Q_{LDA} = 1.955,75 \text{ (kg SST/d)} / 55,67 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 35,13 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.3.6.3 Sobrenadantes do digestor de lamas

Caudal de sobrenadantes recirculado para a entrada da ETAR = Carga de SST no sobrenadante / Teor de SST no sobrenadante:

$$Q_{SOB_LDA} = CA_{SST_SOB_LDA} / T_{SST_SOB_LDA}$$

$$Q_{SOB_LDA} = 89,42 \text{ (kg SST/d)} / 5,00 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 17,88 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga da CBO nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Caudal de sobrenadantes recirculado para a entrada da ETAR x Teor da CBO no sobrenadante:

$$CA_{CBO_SOB_LDA} = Q_{SOB_LDA} \times T_{CBO_SOB_LDA}$$

$$CA_{CBO_SOB_LDA} = 17,88 \text{ (m}^3 \text{ /d)} \times 5,00 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 89,42 \text{ (kg CBO/d)}$$

No QUADRO 7.12 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos ao digestor anaeróbio.

QUADRO 7.12 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO DIGESTOR ANAERÓBIO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - DIGESTOR ANAERÓBIO		
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS AFLUENTES		
Carga de SST - Lamas Primárias Espessadas	(kg SST/d)	2.453,22
Carga de SST - Lamas Secundárias Espessadas	(kg SST/d)	546,53
Carga de SST Total	(kg SST/d)	2.999,74
Caudal - Lamas Primárias Espessadas	(m³/d)	40,30
Caudal - Lamas Secundárias Espessadas	(m³/d)	13,60
Caudal de lamas Total	(m³/d)	53,90
Carga de SSV - Lamas Primárias Espessadas	(kg SSV/d)	1.471,93
Carga de SSV - Lamas Secundárias Espessadas	(kg SSV/d)	437,22
Carga de SSV Total	(kg SSV/d)	1.909,15
% dos sólidos voláteis na mistura de lamas		63,64%
Massa de lamas à entrada do digestor	(kg LAMAS/d)	54.550,13
PARÂMETROS DE PROJECTO		
Tempo de retenção de sólidos	(dias)	10,00
% de sólidos voláteis destruídos durante a digestão	(%)	50,00%
Teor da CBO5 no líquido sobrenadante	(mg CBO/l)	5.000,00
% de SST no líquido sobrenadante - 5000 mg/l	(%)	0,50%
Sólidos voláteis destruídos	(kg SSV/d)	954,58

QUADRO 7.12 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DO DIGESTOR ANAERÓBIO (CONT.)

A massa total de sólidos fixos não se altera durante a digestão		
Quantidade de sólidos fixos nas lamas digeridas	(kg SF/d)	1.090,59
Quantidade de sólidos totais nas lamas em digestão	(kg ST/d)	2.045,17
CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS EFLUENTE		
Peso volúmico do biogás	(kg/m ³)	1,04
Produção específica do biogás	(m ³ /kg)	1,12
Produção total de biogás	(kg Biogás/d)	1.107,01
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Massa de lamas	(kg LAMAS/d)	53.443,11
Quantidade de sólidos nas lamas digeridas para desidratação	(kg SST/d)	1.955,75
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	5,50%
Concentração dos SST	(kg SST/m ³)	55,67
Caudal de lamas digeridas	(m ³ /d)	35,13
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	89,42
Carga da CBO	(kg CBO/d)	89,42
Caudal	(m ³ /d)	17,88

7.3.7 Desidratação

Os parâmetros de operação da desidratação encontram-se resumidos no QUADRO 7.13.

QUADRO 7.13 - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO

CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS		
Captura de SST	(%)	95,00%
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	20,00%
Sólidos Voláteis	(%)	60,00%
Sólidos Fixos	(%)	40,00%
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Teor da CBO nos sobrenadantes	(mg CBO/l)	5.000,00

O esquema do balanço de massas na desidratação, apresenta-se na FIGURA 7.7.

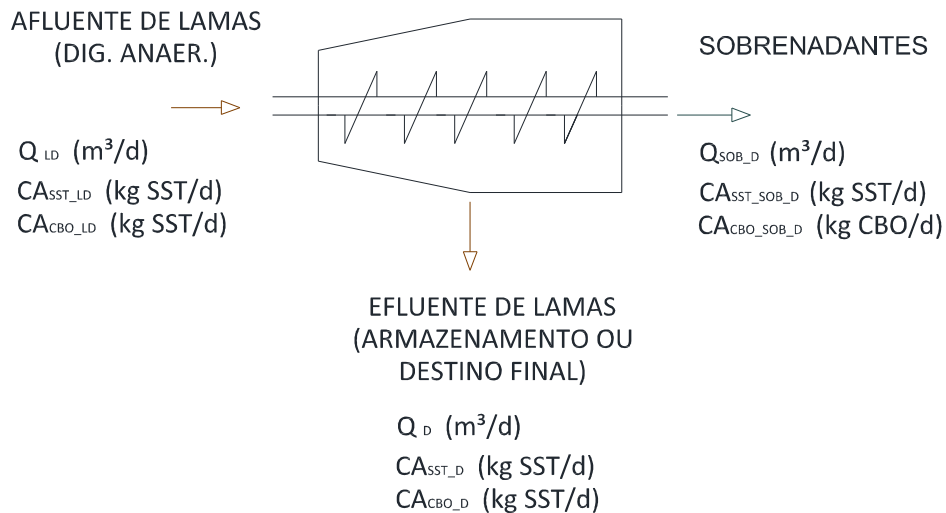


FIGURA 7.7 – ESQUEMA DO BALANÇO DE MASSA NA DESIDRATAÇÃO

Carga de SST nas lamas desidratadas = Carga de SST provenientes digestor de lamas \times Eficiência na captura de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_D} = CA_{SST_LD} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_D} = 1.955,75 \text{ (kg SST/d)} \times 0,95 = 1.857,96 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas desidratadas = Carga de SST nas lamas desidratadas / Concentração de SST nas lamas desidratadas:

$$Q_D = CA_{SST_D} / C_{SST_D}$$

$$Q_D = 1.857,96 \text{ (kg SST/d)} / 210,08 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 8,84 \text{ (m}^3 \text{/d)}$$

7.3.7.1 Sobrenadantes da desidratação

Caudal de sobrenadantes resultantes da desidratação de lamas = Caudal de lamas digeridas anaerobiamente – caudal de lamas desidratadas:

$$Q_{SOB_D} = Q_{LDA} - Q_D$$

$$Q_{SOB_D} = 35,13 \text{ (m}^3\text{/d)} - 8,84 \text{ (m}^3\text{/d)} = 26,29 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga da CBO nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Sólidos totais nas lamas em digestão – teor de sólidos nos sobrenadantes:

$$CA_{CBO_SOB_D} = Q_{SOB_D} \times T_{CBO_SOB_D}$$

$$CA_{CBO_SOB_D} = 26,72 \text{ (m}^3\text{/d)} \times 5,00 \text{ (kg CBO/m}^3\text{)} = 131,44 \text{ (kg CBO/d)}$$

Carga de SST nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Carga de SST provenientes digestor de lamas – Carga de SST nas lamas desidratadas:

$$CA_{SOB_SST_D} = CA_{SST_LD} - CA_{SST_D}$$

$$CA_{SOB_SST_D} = 1.955,75 \text{ (kg SST/d)} - 1.857,96 \text{ (kg SST/d)} = 97,79 \text{ (kg SST/d)}$$

No QUADRO 7.14 apresentam-se os resumos dos cálculos efectuados na tabela de cálculo relativos à desidratação.

QUADRO 7.14 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DA DESIDRATAÇÃO

1ª ITERAÇÃO - CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO - DESIDRATAÇÃO		
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS AFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	1.955,75
Caudal	(m³/d)	35,13

QUADRO 7.14 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PROJECTO DA DESIDRATAÇÃO

EFICIÊNCIAS DA FASE SÓLIDA		
Captura de SST	(%)	95,00%
CARACTERÍSTICAS DAS LAMAS EFLUENTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	1.857,96
% de sólidos	(kg SST/kg LAMAS)	20,00%
Concentração dos SST	(kg SST/m ³)	210,08
Caudal	(m ³ /d)	8,84
CARACTERÍSTICAS DOS SOBRENADANTES		
Carga de SST	(kg SST/d)	97,79
Teor da CBO nos sobrenadantes	(mg CBO/l)	5.000,00
Carga da CBO	(kg CBO/d)	131,44
Caudal	(m ³ /d)	26,29

A desidratação é o último processo de tratamento das lamas deste trabalho, como tal, o cálculo da 1ª iteração encontra-se concluído.

7.4 RESUMOS DAS CARGAS POLUENTES DA 1ª ITERAÇÃO

Os resumos das cargas poluentes provenientes dos sobrenadantes dos processos de tratamento encontram-se resumidos no QUADRO 7.15.

QUADRO 7.15 – ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (1ª ITERAÇÃO)

Operação (1ª iteração)	Q m ³ /d	SST kg SST/d	CBO kg CBO/d
Espessador gravítico	49,91	272,58	136,29
Espessador por flotação das lamas secundárias em excesso	72,11	60,73	38,33
Digestor de lamas	17,88	89,42	89,42
Filtrado da desidratação	26,29	97,79	131,44
TOTAIS	166,19	520,51	395,49
<i>Acréscimo percentual</i>	2,33%	13,37%	14,96%

7.5 2ª ITERAÇÃO

Após a realização dos cálculos dos vários processos de tratamento, os sobrenadantes resultantes irão ser contemplados através da adição aos dados base.

- Caudal da 2ª iteração = Caudal inicial + Caudal dos Sobrenadantes da 1ª iteração:

$$Q_{2ª IT} = Q_0 + Q_{1ª IT}$$

$$Q_{2ª IT} = 7.138,00 (m^3/d) + 166,19 (m^3/d) = 7.304,19 (m^3/d)$$

- Carga de SST da 2ª iteração = Carga de SST inicial + Carga de SST dos Sobrenadantes da 1ª iteração:

$$CA_{SST}^{2ª IT} = CA_{SST} + CA_{SST}^{1ª IT}$$

$$CA_{SST}^{2ª IT} = 3.893,99 (kg SST/d) + 520,51 (kg SST/d) = 4.414,51 (kg SST/d)$$

- Carga da CBO da 2ª iteração = Carga da CBO inicial + Carga da CBO dos Sobrenadantes da 1ª iteração:

$$CA_{CBO}^{2ª IT} = CA_{CBO} + CA_{CBO}^{1ª IT}$$

$$CA_{CBO}^{2ª IT} = 2.642,99 (kg CBO/d) + 395,49 (kg CBO/d) = 3.038,47 (kg CBO/d)$$

Os cálculos da nova iteração terão em conta os novos dados de base.

As operações de tratamento terão os mesmos parâmetros de dimensionamento da 1ª iteração.

7.5.1 Tratamento Primário

Carga de SST removidas nas lamas primárias = Carga de SST de dimensionamento \times Eficiência na remoção de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_LP}^{2^a IT} = CA_{SST}^{2^a IT} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_LP}^{2^a IT} = 4.414,51 \text{ (kg SST/d)} \times 0,7 = 3.090,15 \text{ (kg SST/d)}$$

Carga da CBO removida nas lamas primárias = Carga da CBO de dimensionamento \times Eficiência na remoção da CBO para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{CBO_LP}^{2^a IT} = CA_{CBO}^{2^a IT} \times \eta_{CBO}$$

$$CA_{CBO_LP}^{2^a IT} = 3.038,47 \text{ (kg CBO/d)} \times 0,30 = 911,54 \text{ (kg CBO/d)}$$

Caudal de lamas primárias para espessamento = Carga de SST removidas nas lamas primárias / Concentração de sólidos totais nas lamas primárias:

$$Q_{LP}^{2^a IT} = CA_{SST_LP}^{2^a IT} / C_{SST_LP}$$

$$Q_{LP}^{2^a IT} = 3.090,15 \text{ (kg SST/d)} / 30,22 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 102,26 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.5.2 Espessamento gravítico

Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas = Carga de SST do decantador primário \times Eficiência na captura de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_LP_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LP}^{2^a IT} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_LP_E}^{2^a IT} = 3.090,15 \text{ (kg SST/d)} \times 0,90 = 2.781,14 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas primárias espessadas = Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas / Concentração de sólidos totais nas lamas primárias espessadas:

$$Q_{LP_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LP_E}^{2^a IT} / C_{SST_LP_E}$$

$$Q_{LP_E}^{2^a IT} = 2.781,14 \text{ (kg SST/d)} / 60,88 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 45,68 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.5.2.1 Sobrenadantes do espessador gravítico

Caudal de sobrenadantes resultantes do espessamento gravítico = Caudal de lamas do decantador primário – caudal de lamas espessadas:

$$Q_{SOB_LP_E}^{2^a IT} = Q_{LP}^{2^a IT} - Q_{LP_E}^{2^a IT}$$

$$Q_{SOB_LP_E}^{2^a IT} = 102,26 \text{ (m}^3\text{/d)} - 45,68 \text{ (m}^3\text{/d)} = 56,58 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga de SST nos sobrenadantes = Carga de SST do decantador primário – Carga de SST removidas nas lamas primárias espessadas:

$$CA_{SOB_SST_LP_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LP}^{2^a IT} - CA_{SST_LP_E}^{2^a IT}$$

$$CA_{SOB_SST_LP_E}^{2^a IT} = 3.090,15 \text{ (kg SST/d)} - 2.781,14 \text{ (kg SST/d)} = 309,02 \text{ (kg SST/d)}$$

Tendo em conta que parte da CBO é recirculada para a entrada da ETAR, poder-se à assumir que a relação entre a CBO e os SST é na ordem dos 50 %.

Carga da CBO nos sobrenadantes = Carga de SST nos sobrenadantes x 50 %:

$$CA_{SOB_CBO_LP_E}^{2^a IT} = CA_{SOB_SST_LP_E}^{2^a IT} \times 0,50$$

$$CA_{SOB_CBO_LP_E}^{2^a IT} = 309,02(kg SST/d) \times 0,50 = 154,51 (kg CBO/d)$$

7.5.3 Tratamento Secundário

- Caudal afluente ao reactor: $Q_{2^a IT} = 7.304,19 (m^3/d)$

- Carga de SST à saída da ETAR na 2ª iteração é igual à carga de SST da 1ª iteração.

$$CA_{SST_e}^{2^a IT} = CA_{SST_e}^{1^a IT}$$

$$CA_{SST_e}^{2^a IT} = 249,83 (kg SST/d)$$

- Carga da CBO_5 afluente ao reactor (após tratamento primário):

$$T_{CBO}^{2^a IT} = CA_{CBO}^{2^a IT} / Q_{2^a IT}$$

$$T_{CBO}^{2^a IT} = 3.038,47 (kg CBO/d) / 7.304,19 (m^3/d) = 0,415,99 (kg CBO/m^3)$$

$$S_0^{2^a IT} = \frac{0,415,99}{0,001} \times 0,7 = 291,19 (mg CBO/l)$$

A taxa líquida de crescimento microbiano é a mesma da 1ª iteração calculada no exemplo 4.2.1.

$$Y_{obs} = \frac{0,6 (mgSSV/mg CBO_5)}{1 + 10 (d) \times 0,06 (d^{-1})} = 0,375 (mg SSV/mg CBO_5)$$

A produção de lamas secundárias numa base diária pode ser estimada utilizando a fórmula (4 – 4)

$$P_{x_SSV}^{2^a IT} = Y_{Obs} \times Q_{2^a IT} \times (S_0 - S)$$

$$\begin{aligned} P_{x_SSV}^{2^a IT} &= \frac{0,3750 \text{ mg SSV/mg CBO} \times 7.304,19 \text{ (m}^3\text{/d)} \times (291,19 \text{ (mg CBO/l)} - 3,03 \text{ mg CBO/l)}}{1.000,00} \\ &= 789,29 \text{ (kg SSV/d)} \end{aligned}$$

O incremento de SST produzidos no tanque de arejamento = O incremento de SSV produzidos no tanque de arejamento / 0,80:

$$\begin{aligned} P_{x_SST}^{2^a IT} &= P_{x_SSV}^{2^a IT} / 0,80 \\ P_{x_SST}^{2^a IT} &= 789,29 \text{ (kg SSV/d)} / 0,80 = 986,62 \text{ (kg SST/d)} \end{aligned}$$

Carga de SST para espessamento = Incremento de SST no TA - Carga no efluente:

$$\begin{aligned} CA_{SST_LS}^{2^a IT} &= P_{x_SST}^{2^a IT} - CA_e^{2^a IT} \\ CA_{SST_LS}^{2^a IT} &= 986,62 \text{ (kg SST/d)} - 249,83 \text{ (kg SST/d)} = 736,79 \text{ (kg SST/d)} \end{aligned}$$

O caudal das lamas em excesso removido do circuito de recirculação é calculado através da equação (I – 35) do Anexo I:

$$Q_w^{2^a IT} = \frac{P_{x_SST}}{X_r} = \frac{986,62 \text{ (kgSST/d)}}{10,00 \text{ (kgSST/m}^3\text{)}} = 98,66 \text{ (m}^3\text{/dia)}$$

7.5.4 Espessador por ar dissolvido

Carga de SST removidas nas lamas secundárias espessadas = Carga de SST do decantador secundário × Eficiência na captura de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_LS_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LS}^{2^a IT} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_LS_E}^{2^a IT} = 736,79 \text{ (kg SST/d)} \times 0,90 = 663,11 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas secundárias espessadas = Carga de SST removidas nas lamas secundárias espessadas / Concentração de sólidos totais nas lamas secundárias espessadas:

$$Q_{LS_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LS_E}^{2^a IT} / C_{SST_LS_E}$$

$$Q_{LS_E}^{2^a IT} = 663,11 \text{ (kg SST/d)} / 40,19 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 16,50 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.5.4.1 Sobrenadantes do espessador por ar dissolvido

Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR = Caudal de lamas removidas – Caudal das lamas espessadas:

$$Q_{SOB_LS_E}^{2^a IT} = Q_w^{2^a IT} - Q_{LS_E}^{2^a IT}$$

$$Q_{SOB_LS_E}^{2^a IT} = 98,66 \text{ (m}^3\text{/d)} - 16,50 \text{ (m}^3\text{/d)} = 82,29 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga de sólidos em suspensão totais recirculados para a entrada da ETAR = Carga de sólidos em suspensão totais a descarregar para o espessador – Carga de sólidos em suspensão totais das lamas secundárias espessadas:

$$CA_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} = CA_{SST_LS}^{2^a IT} - CA_{SST_LS_E}^{2^a IT}$$

$$CA_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} = 736,79 \text{ (kg SST/d)} - 663,11 \text{ (kg SST/d)} = 73,68 \text{ (kg SST/d)}$$

Concentração dos SST na recirculação para a entrada da ETAR com a remoção de lamas a partir do reactor biológico = Carga de SST recirculados para a entrada da ETAR / Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR:

$$C_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} = CA_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} / Q_{SOB_LS_E}^{2^a IT}$$

$$C_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} = 73,68 \text{ (kg SST/d)} / 82,16 \text{ (m}^3\text{/d)} = 896,73 \text{ (mg SST/l)}$$

Como para a 1ª iteração, é necessário determinar a CBO₅ total nos sólidos em suspensão recirculados.

Parte biodegradável dos sólidos em suspensão totais (equação 4 – 8):

$$CBO_{5_SSV_LS_E}^{2^a IT} = C_{SST_SOB_LS_E}^{2^a IT} \times 0,628$$

$$CBO_{5_SSV_LS_E}^{2^a IT} = 896,73 \text{ (mg SST/l)} \times 0,628 = 562,82 \text{ (mg CBO/l)}$$

Através da equação (4 – 9), determina-se a CBO₅ total nos sólidos em suspensão recirculados para a 2ª iteração:

$$CBO_{5_Te}^{2^a IT} \cong S + 0,628 SST_e$$

$$CBO_{5_Te}^{2^a IT} = 3,03 \text{ (mg CBO/l)} + 562,82 \text{ (mg CBO/l)} = 565,86 \text{ (mg CBO/l)}$$

Carga da CBO5 nos sobrenadantes = Carga da CBO 5 total nos SST / Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR:

$$CA_{SOB_CBO}^{2^a IT} = CBO_{5_T}^{2^a IT} / Q_{SOB_LS_E}^{2^a IT}$$

$$CA_{SOB_CBO}^{2^a IT} = \frac{565,86 \text{ (mg CBO/l)}}{1.000} / 82,16 \text{ (m}^3\text{/d)} = 46,49 \text{ (kg CBO/m}^3\text{)}$$

7.5.5 Digestão anaeróbia

Os parâmetros de operação são idênticos aos da 1ª iteração.

Carga de SST de lamas digeridas anaerobiamente = Carga de SST das lamas primárias espessadas + Carga de SST lamas secundárias espessadas:

$$CA_{SST_LDA}^{2^a IT} = CA_{SST_LP_E}^{2^a IT} + CA_{SST_LS_E}^{2^a IT}$$

$$CA_{SST_LDA}^{2^a IT} = 2.781,14 \text{ (kg SST/d)} + 663,11 \text{ (kg SST/d)} = 3.444,25 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas de lamas digeridas anaerobiamente = Caudal de lamas primárias espessadas + Caudal de lamas secundárias espessadas:

$$Q_{LDA}^{2^a IT} = Q_{LP_E}^{2^a IT} + Q_{LS_E}^{2^a IT}$$

$$Q_{LDA}^{2^a IT} = 45,68 \text{ (m}^3\text{/d)} + 16,50 \text{ (m}^3\text{/d)} = 62,18 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente = Carga de SSV das lamas primárias espessadas + Carga de SSV lamas secundárias espessadas:

$$CA_{SSV_LDA}^{2^a IT} = CA_{SSV_LP_E}^{2^a IT} \times 60,00 \% + CA_{SSV_LS_E}^{2^a IT} \times 80,00 \%$$

$$\begin{aligned} CA_{SSV_LDA}^{2^a IT} &= 2.781,14 \text{ (kg SST/d)} \times 60,00\% + 663,11 \text{ (kg SST/d)} \times 80,00\% \\ &= 2.199,17 \text{ (kg SSV/d)} \end{aligned}$$

Percentagem dos sólidos voláteis na mistura de lamas para o digestor = Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente / Carga de SST de lamas digeridas anaerobiamente:

$$\% SSV_{DL} = (CA_{SSV_DL}^{2^a IT} / CA_{SST_DL}^{2^a IT}) \times 100$$

$$\% SSV_{DL} = (2.199,17 \text{ (kg SSV/d)} / 3.444,25 \text{ (kg SST/d)}) \times 100 = 63,85\%$$

Sólidos voláteis destruídos = Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente x Percentagem de sólidos voláteis destruídos durante a digestão:

$$SSV_{LDA_D} = CA_{SSV_{DL}}^{2^a IT} \times 50 \%$$

$$SSV_{LDA_D} = 2.199,17 \text{ (kg SSV/d)} \times 0,50 = 1.099,58 \text{ (kg SSV/d)}$$

Quantidade de lamas primárias espessadas com 6,0 % de sólidos = Carga de SST no espessador gravítico / % de concentração dos SST nas lamas primárias espessadas:

$$LP_{6\% SST}^{2^a IT} = CA_{SST_{LP_E}}^{2^a IT} / 6,0\%$$

$$LP_{6\% SST}^{2^a IT} = 2.781,14 \text{ (kg SST/d)} / 0,06 = 46.352,33 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

Quantidade de lamas secundárias espessadas com 4,0 % de sólidos = Carga de SST lamas secundárias espessadas / % de concentração dos SST nas lamas primárias espessadas:

$$LS_{6\% SST}^{2^a IT} = CA_{SST_{LS_E}}^{2^a IT} / 4,0\%$$

$$LS_{6\% SST}^{2^a IT} = 663,11 \text{ (kg SST/d)} / 0,04 = 16.577,68 \text{ (kg LAMAS/d)}$$

Quantidade de lamas primárias e lamas activadas espessadas = Quantidade de lamas primárias espessadas com 6,0 % de sólidos + Quantidade de lamas secundárias espessadas com 4,0 % de sólidos:

$$LDA^{2^a IT} = LP_{6\% SST}^{2^a IT} + LS_{6\% SST}^{2^a IT}$$

$$\begin{aligned} LDA^{2^a IT} &= 46.352,33 \text{ (kg LAMAS/d)} + 16.577,68 \text{ (kg LAMAS/d)} \\ &= 62.929,99 \text{ (kg LAMAS/d)} \end{aligned}$$

A massa total de sólidos fixos não se altera durante a digestão.

Quantidade de sólidos fixos nas lamas digeridas = Carga de SST de lamas digeridas anaerobiamente – Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente:

$$CA_{SF_LDA}^{2^a IT} = CA_{SST_LDA}^{2^a IT} - CA_{SSV_LDA}^{2^a IT}$$

$$CA_{SF_LDA}^{2^a IT} = 3.444,25 \text{ (kg SST / d)} - 2.199,17 \text{ (kg SSV / d)} = 1.245,08 \text{ (kg SF / d)}$$

Quantidade de sólidos totais na lama em digestão (sólidos nas lamas e nos sobrenadantes) = Quantidade de sólidos fixos nas lamas digeridas + (1 – Percentagem de sólidos voláteis destruídos durante a digestão) x Carga de SSV de lamas digeridas anaerobiamente:

$$CA_{ST_LDA}^{2^a IT} = CA_{SF_LDA}^{2^a IT} + (1 - 50\%) \times CA_{SSV_LDA}^{2^a IT}$$

$$\begin{aligned} CA_{ST_LDA}^{2^a IT} &= 1.245,08 \text{ ((kg SF) / d)} + (1 - 0,50) \times 2.199,17 \text{ ((kg SSV) / d)} \\ &= 2.344,66 \text{ (kg ST/d)} \end{aligned}$$

7.5.5.1 Produção de biogás

Produção total de biogás = Produção específica de biogás x Peso volúmico do biogás x Sólidos voláteis destruídos:

$$\text{Biogás} = \text{Produção específica biogás} \times \rho_{\text{biogás}} \times CA_{SSV_LDA}^{2^a IT}$$

$$\begin{aligned} \text{Biogás} &= 1,12 \text{ (m}^3\text{/kg SSV)} \times 1,04 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1.099,58 \text{ (kg SSV) / d)} \\ &= 1.275,18 \text{ (kg BIOGÁS/d)} \end{aligned}$$

7.5.5.2 Balanço mássico do digestor

Massa de Lamas removidas = Massa de lamas à entrada do digestor – Massa de lamas digeridas (gás):

$$L_{SOB_SST_LDA}^{2^a IT} = LDA^{2^a IT} - Biogás$$

$$\begin{aligned} L_{SOB_SST_LDA}^{2^a IT} &= 62.929,99 \text{ (kg LAMAS/d)} - 1.245,08 \text{ (kg BIOGÁS/d)} \\ &= 61.654,81 \text{ (kg SST/d)} \end{aligned}$$

Nas lamas que saem, uma parte vai para o sobrenadante, outra para o tratamento de lamas

Massa de lamas removidas (z) = massa de lamas para desidratação (Y) + sobrenadantes (X)

$$\frac{x}{\%} + \frac{y-x}{\%} = Z$$

$$\frac{x}{0,005} + \frac{2.344,66 \text{ (kg ST/d)} - x}{0,050} = 61.654,81 \text{ (kg LAMAS) / d}$$

$$x = CA_{SST_SOB_LDA}^{2^a IT} = 104,64 \text{ (kg SST / d)}$$

Carga de SST nas lamas digeridas = Sólidos totais nas lamas em digestão – sólidos no sobrenadantes:

$$CA_{SST_LDA}^{2^a IT} = CA_{ST_LDA}^{2^a IT} - CA_{SST_SOB_LDA}^{2^a IT}$$

$$CA_{SST_LDA}^{2^a IT} = 2.344,66 \text{ (kg ST) / d} - 104,64 \text{ (kg SST/d)} = 2.240,03 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas digeridas = Carga de SST nas lamas digeridas / Concentração de SST nas lamas digeridas:

$$Q_{LDA}^{2^a IT} = CA_{SST_LDA}^{2^a IT} / C_{SST_LDA}^{2^a IT}$$

$$Q_{LDA}^{2^a IT} = 2.240,03 \text{ (kg ST/d)} / 55,67 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 40,24 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

7.5.5.3 Sobrenadantes do digestor de lamas

Caudal de sobrenadante recirculado para a entrada da ETAR = Carga de SST no sobrenadante / Concentração de SST no sobrenadante:

$$Q_{SOB_LDA}^{2ª\ IT} = CA_{SST_SOB_LDA}^{2ª\ IT} / C_{SST_SOB_LDA}$$

$$Q_{SOB_LDA}^{2ª\ IT} = 104,64 \text{ (kg SST / d)} / 5,00 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 20,93 \text{ (m}^3\text{ / d)}$$

Carga da CBO nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Sólidos totais nas lamas em digestão – sólidos nos sobrenadantes:

$$CA_{CBO_SOB_LDA}^{2ª\ IT} = Q_{SOB_LD}^{2ª\ IT} \times T_{CBO_SOB_LDA}$$

$$CA_{CBO_SOB_LDA}^{2ª\ IT} = 20,93 \text{ (m}^3\text{ / d)} \times 5,00 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 104,64 \text{ (kg CBO/d)}$$

7.5.6 Desidratação

Carga de SST nas lamas desidratadas = Carga de SST provenientes do digestor de lamas × Eficiência na captura de SST para o tratamento da fase líquida:

$$CA_{SST_D}^{2ª\ IT} = CA_{SST_LD}^{2ª\ IT} \times \eta_{SST}$$

$$CA_{SST_D}^{2ª\ IT} = 2.240,03 \text{ (kg SST/d)} \times 0,95 = 2.128,02 \text{ (kg SST/d)}$$

Caudal de lamas desidratadas = Carga de SST nas lamas desidratadas / Concentração de SST nas lamas desidratadas:

$$Q_D^{2ª\ IT} = CA_{SST_D}^{2ª\ IT} / C_{SST_D}$$

$$Q_D^{2ª\ IT} = 2.128,02 \text{ (kg SST/d)} / 210,08 \text{ (kg SST/m}^3\text{)} = 10,13 \text{ (m}^3\text{ / d)}$$

7.5.6.1 Sobrenadantes da desidratação

Caudal de sobrenadantes resultantes da desidratação de lamas = Caudal de lamas digeridas – caudal de lamas desidratadas:

$$Q_{SOB_D}^{2^a IT} = Q_{LD}^{2^a IT} - Q_D^{2^a IT}$$

$$Q_{SOB_D}^{2^a IT} = 40,24 (m^3/d) - 10,13 (m^3/d) = 30,11 (m^3/d)$$

Carga da CBO nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Sólidos totais nas lamas em digestão – sólidos nos sobrenadantes:

$$CA_{CBO_SOB_D}^{2^a IT} = Q_{SOB_D}^{2^a IT} \times T_{CBO_SOB_D}$$

$$CA_{CBO_SOB_D}^{2^a IT} = 30,11 \times 5,00 (kg CBO/m^3) = 150,55 (kg CBO/d)$$

Carga de SST nos sobrenadantes recirculados para a entrada da ETAR = Carga de SST provenientes do digestor de lamas – Carga de SST nas lamas desidratadas:

$$CA_{SST_SOB_D}^{2^a IT} = CA_{SST_LDA}^{2^a IT} - CA_{SST_D}^{2^a IT}$$

$$CA_{SST_SOB_D}^{2^a IT} = 2.240,03 (kg SST/d) - 2.128,02 = 112,00 (kg SST/d)$$

7.6 RESUMOS DAS CARGAS POLUENTES DA 2ª ITERAÇÃO

Os resumos das cargas poluentes da 2ª iteração, provenientes dos sobrenadantes dos processos de tratamento encontram-se resumidos no QUADRO 7.16.

QUADRO 7.16 – ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (2ª ITERAÇÃO)

Operação	Q m³/d	SST kg SST/d	CBO kg CBO/d
Espessador gravítico	56,58	309,02	154,51
Espessador por flotação das lamas secundárias em excesso	82,16	73,68	46,49
Digestor de lamas	20,93	104,64	104,64
Filtrado da desidratação	30,11	112,00	150,55
TOTAIS	189,78	599,33	456,18
<i>Acréscimo percentual Global</i>	2,66%	15,39%	17,26%

No QUADRO 7.17 apresenta-se as diferenças de cargas poluentes entre a 1ª Iteração e a 2ª Iteração, dos vários processos de tratamento.

QUADRO 7.17 – DIFERENÇA DE CARGAS POLUENTES ENTRE A 1ª ITERAÇÃO E A 2ª ITERAÇÃO

Operação (2ª Iteração)	Q m³/d	SST kg SST/d	CBO kg CBO/d
Espessador gravítico	56,58	309,02	154,51
Espessador por flotação das lamas secundárias em excesso	82,16	73,68	46,49
Digestor de lamas	20,93	104,64	104,64
Filtrado da desidratação	30,11	112,00	150,55
TOTAIS	189,78	599,33	456,18
<i>Acréscimo percentual</i>	2,66%	15,39%	17,26%

7.7 3ª ITERAÇÃO

A 3ª Iteração é idêntica à 2ª, pelo que irá ser apresentada a tabela resumo das cargas poluentes (QUADRO 7.18).

QUADRO 7.18 - ACRÉSCIMOS DE CARGAS POLUENTES (3ª ITERAÇÃO)

Operação (3ª Iteração)	Q m³/d	SST kg SST/d	CBO kg CBO/d
Espessador gravítico	57,59	314,53	157,27
Espessador por flotação das lamas secundárias em excesso	83,71	75,67	47,75
Digestor de lamas	21,39	106,96	106,96
Filtrado da desidratação	30,69	114,16	153,45
TOTAIS	193,38	611,32	465,42
<i>Acréscimo percentual</i>	2,71%	15,70%	17,61%

No QUADRO 7.19 apresenta-se as diferenças de cargas poluentes entre a 2ª Iteração e a 3ª Iteração, dos vários processos de tratamento.

QUADRO 7.19 - DIFERENÇA DE CARGAS POLUENTES ENTRE A 2ª ITERAÇÃO E A 3ª ITERAÇÃO

Operação	Q m³/d	SST kg SST/d	CBO kg CBO/d
Espessador gravítico	1,79%	1,79%	1,79%
Espessador por flotação das lamas secundárias em excesso	1,88%	2,70%	2,69%
Digestor de lamas	2,22%	2,22%	2,22%
Filtrado da desidratação	1,93%	1,93%	1,93%
TOTAIS	1,90%	2,00%	2,02%

Pelo facto das cargas poluentes resultantes dos processos de tratamento, à 3ª iteração não apresentarem uma diferença maior que os 5,0%, o processo iterativo é dado como concluído.

Na FIGURA 7.8, encontram-se resumidos os valores de cálculo dos caudais, cargas de SST e CBO do balanço de massas do cálculo da 3ª iteração.

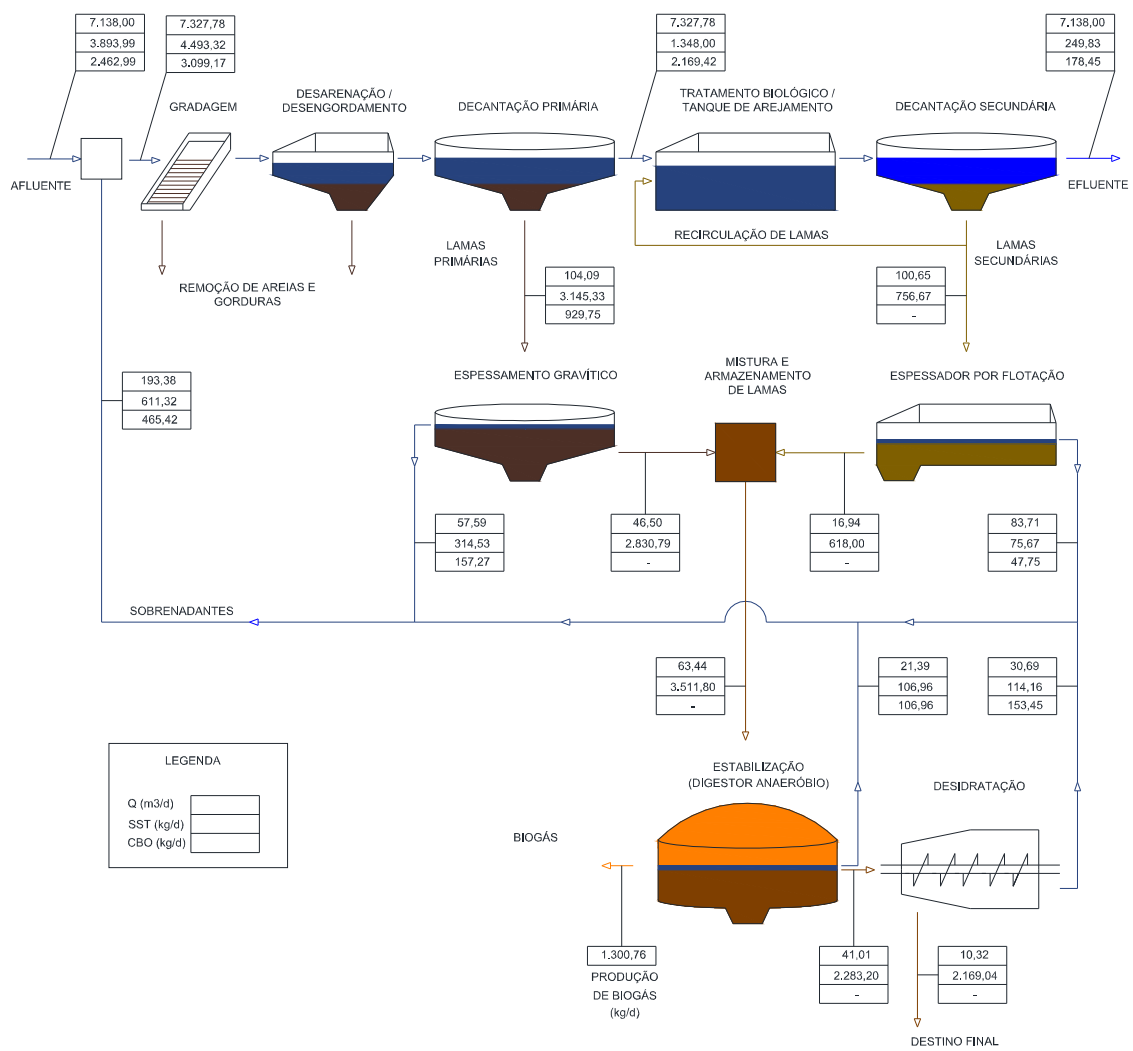


FIGURA 7.8 – ESQUEMA FINAL DO BALANÇO DE MASSAS

8. CONCLUSÃO

Com o modelo de cálculo baseado no balanço de massas, pretende-se estimar a produção de lamas tratadas numa ETAR. Esta aproximação permite realizar estudos acerca do destino mais adequado a dar a essas lamas. No caso deste trabalho e com os dados de base apresentados, a produção estimada de lamas após tratamento final, cifra-se em 10,32 m³/d com uma concentração de sólidos numa base seca de cerca de 210,08 kg/m³, ou seja, aproximadamente 2.169,04 kg /d.

Os sobrenadantes resultantes do tratamento das lamas resultaram num incremento adicional de cerca de 2,71% (193,38 m³/d) de caudal, 15,70% (611,32 kg/d) de sólidos em suspensão totais e de 17,61% (465,42 kg/d) de carência bioquímica de oxigénio, a montante da linha de tratamento de águas residuais. Estes sobrenadantes devem ser encaminhados para um tanque de homogeneização, a montante da linha de tratamento preliminar, por forma, a precaver pontas de cargas poluentes que poderão sobrecarregar os processos de tratamento da estação. Este tanque, também poderá ser aplicado a jusante do tratamento primário, diminuindo assim as cargas poluentes introduzidas neste, mas, aumentando no tratamento secundário.

O balanço de massas pode ser realizado com outras alternativas de cálculo, quer ao nível de “inputs” (dados, eficiências, características, entre outras), quer ao nível de soluções das linhas de tratamento. O modelo descrito ao longo do presente trabalho serve não só como um exemplo para as metodologias de tratamento, mas também para pré-dimensionar equipamentos, tanques, diâmetros de tubagens, para mencionar alguns. Este modelo pode ser por isso considerado um como um guia na exploração de uma ETAR ou no dimensionamento da mesma.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Metcalf and Eddy, (1991). Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse. 3^o Edition. MacGraw-Hill, Inc.

[2] Sludge into biosolids: processing, disposal, utilization (2011), Por Ludovico Spinosa. Disponível em: <http://books.google.pt/books?id=5KD-Gzuyw78C&printsec=frontcover&dq=Ludovico+Spinosa&hl=pt-PT&sa=X&ei=usD9TsTYBMOu8AONyJiIDA&ved=0CDQQ6AEwAQ#v=onepage&q=Ludovico%20Spinosa&f=false>.

[3] INSSAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais - Instituto da Água, I.P. Disponível em: <http://insaar.inag.pt/>.

[4] Design of Municipal Wastewater Treatment Plants. 4th ed. WEF Manual of Practice n.º 8 – ASCE Manual and Reports on Engineering Practice n.º 76. – vol.1 1998. ISBN 1-57278-134-3.

[5] Mackenzie L. Davis, (2010). Water and Wastewater Engineering – Design Principles and Practice. MacGraw-Hill, Inc.

[6] Agência Europeia do Ambiente (AEA) - Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences, Environmental Issues Series n.º. 7, ISWA'S working group on sewage & Waterworks sludge, 1997.

[7] Decreto-Lei n.º 152/97. Diário da República n.º 139/1997 – I Série - A. Ministério do Ambiente, de 19 de Junho de 1997.

[8] Decreto – Lei n.º 118/2006, Diário da República n.º 118/206 – I Série - A. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, de 21 de Junho de 2006.

[9] U.S. Environmental Protection Agency (1979). Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal.

[10] Water Environment Federation, (2008). Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants – Manual of Practice N.º11, Volume I, Six Edition. MacGraw-Hill, Inc.

[11] P. Arne Vesilind, Susan M. Morgan, Lauren G. Heine (2010). Introduction to Environmental Engineering - Third Edition. CENGAGE Learning.

ANEXO I

Considerações para o dimensionamento do tanque de arejamento

Para o correcto dimensionamento do sistema do tanque de arejamento, há considerações teóricas a ter em conta, descritas de seguida ^[1]:

As origens mais comuns de carbono celular são, a matéria orgânica, o anidrido carbónico e os bicarbonatos. Os microrganismos heterotróficos utilizam o carbono orgânico para a formação do seu tecido celular. Os microrganismos autotróficos utilizam o carbono inorgânico do anidrido carbónico e dos compostos inorgânicos como é o caso dos bicarbonatos.

Como o principal objectivo dos processos de tratamento biológico é a remoção da matéria carbonatada ou seja, a redução da CBO carbonatada, os microrganismos heterotróficos são os mais importantes por causa das suas exigências de carbono orgânico como fonte de carbono para a formação do seu material celular e como fonte de energia.

Os microrganismos envolvidos nos processos de lamas activadas dependem da respiração aeróbia para satisfazer as suas necessidades energéticas e só conseguem sobreviver quando há fornecimento de oxigénio molecular. São designados por estritamente aeróbios.

A comunidade biológica nos processos de tratamento necessita de um ambiente controlado para permitir o seu crescimento, sendo necessário permitir que os microrganismos permaneçam no sistema o tempo suficiente para se reproduzirem.

Este período de permanência depende da sua taxa de crescimento, que depende da taxa a que metabolizam ou utilizam o substrato.

O controlo da taxa de crescimento dos microrganismos, permite a estabilização da matéria orgânica, se as condições ambientais forem favoráveis.

A taxa de crescimento bacteriano pode ser definida pela seguinte expressão:

$$r_g = \mu X \quad (1 - 2)$$

Onde:

r_g - Taxa de crescimento bacteriano, ($mg/l.d$)

μ - Taxa específica de crescimento, (d^{-1});

X - Concentração dos microrganismos, (mg/l);

Numa cultura em contínuo, o crescimento bacteriano é limitado e o efeito de um substrato ou nutriente limitante pode ser definido pela expressão:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (1 - 3)$$

Onde:

μ - Taxa específica de crescimento, (d^{-1});

μ_m - Taxa de crescimento específica máxima, (d^{-1});

S - Concentração do substrato limitante de crescimento, (mg/l);

K_s - Constante de Monod - Concentração do substrato para a qual a taxa de crescimento observada é metade da máxima taxa de crescimento.

Assim a taxa de crescimento bacteriano pode ser representada pela seguinte expressão, substituindo o μ da expressão (1 - 3), na equação (1 - 2):

$$r_g = \mu_m \frac{S}{K_s + S} X \quad (1 - 4)$$

Uma parte do substrato é convertida em novas células e a outra parte é oxidada em produtos finais orgânicos e inorgânicos.

Como a produção de novas células apresenta valores característicos para um dado substrato, então é possível estabelecer uma relação entre a taxa de utilização do substrato e a taxa de crescimento:

$$r_g = -Y r_{su} \quad (1 - 5)$$

Onde:

Y - Coeficiente de rendimento bacteriano máximo, relativo a um período de tempo durante o crescimento logarítmico, (mg/mg)

r_{su} – Taxa de utilização do substrato, ($mg/l.d$)

Então a taxa de utilização do substrato pode então ser representada por r_{su} , substituindo r_g da expressão (1 – 5) na expressão (1 – 4):

$$r_{su} = - \frac{\mu_m S X}{Y(K_s+S)} \quad (1 - 6)$$

Considerando que:

$$k = \frac{\mu_m}{Y} \quad (1 - 7)$$

Onde:

K - Taxa de utilização do substrato por unidade de massa de microrganismos, ($mg/mg.d$)

A taxa de utilização do substrato pode ser representada substituindo na equação (1 – 6), a equação (1 – 7):

$$r_{su} = - \frac{k S X}{K_s+S} \quad (1 - 8)$$

A taxa de crescimento dos microrganismos tem que ser corrigida tendo em consideração que nem todas as células do sistema estão na sua fase de crescimento logarítmico e que é necessário considerar outros factores de entre os quais se salienta a auto-oxidação ou respiração endógena.

O decréscimo de massa resultante destes factores é proporcional à concentração dos microrganismos presentes e é normalmente identificado com o declínio provocado pela respiração endógena.

O efeito da respiração endógena é representado por:

$$r_d = -k_d X \quad (1 - 9)$$

Onde:

k_d - Coeficiente de respiração endógena, (d^{-1});

X - Concentração dos microrganismos, (mg/l);

A taxa líquida de crescimento dos microrganismos pode então ser escrita como, a taxa de crescimento bacteriano – efeito da respiração endógena.

Combinando as expressões (1 – 4) com a (1 – 9), obtêm-se a taxa líquida de crescimento bacteriano, representada por:

$$r'_g = \frac{\mu_m S X}{K_s + S} - k_d X \quad (1 - 10a)$$

Ou pelas expressões (1 – 5) e (1 – 9):

$$r'_g = -Y r_{su} - k_d X \quad (1 - 10b)$$

Onde:

r'_g - Taxa líquida de crescimento bacteriano, ($mg/l.d$);

A expressão correspondente para a taxa líquida específica de crescimento dos microrganismos (d^{-1}) pode então ser escrita como:

$$\mu' = \mu_m \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad (1 - 11)$$

O efeito da respiração endógena no rendimento líquido bacteriano pode ser representado pela equação:

$$Y_{obs} = - \frac{r'_g}{r_{su}} \quad (1 - 12)$$

Que define o rendimento observado ou rendimento líquido bacteriano como sendo a relação entre a taxa líquida de crescimento microbiano e a taxa de utilização do substrato.

Balanco de massas dos microrganismos

O balanço mássico da massa de microrganismos com recirculação e remoção de lamas a partir do circuito de recirculação, de acordo com o esquema da FIGURA I.1 pode ser representado pela seguinte expressão:

$$\frac{dX}{dt} V_r = Q_0 X_0 - (Q_w X_r + Q_e X_e) + V_r (r'_g) \quad (I - 13)$$

Onde:

V_r - Volume do reactor, (m^3);

X - Concentração de microrganismos no reactor, ($mg\ SSV/l$);

X_0 - Concentração de microrganismos que entram no reactor, ($mg\ SSV/l$);

X_e - Concentração d microrganismos que saem no reactor ($mg\ SSV/l$);

X_r - Concentração d microrganismo na recirculação, ($mg\ SSV/l$);

Q_0 - Caudal que entra no reactor (m^3/d);

Q_e - Caudal que sai do tanque de decantação, (m^3/d);

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

r'_g - Taxa líquida de crescimento dos microrganismos, ($mg\ SSV/l.d$)

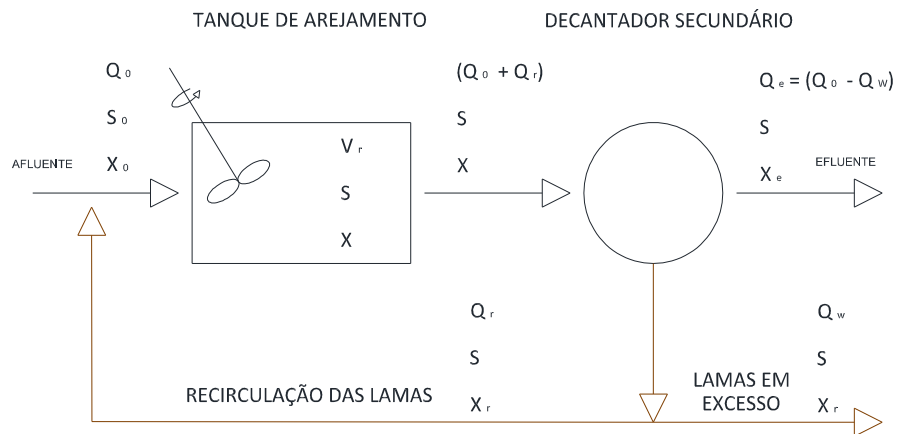


FIGURA I.1 - BALANÇO MÁSSICO DA MASSA DE MICRORGANISMOS COM RECIRCULAÇÃO E REMOÇÃO DE LAMAS A PARTIR DO CIRCUITO DE RECIRCULAÇÃO

Esta expressão significa que a taxa de acumulação de microrganismos no interior das fronteiras do sistema é igual ao fluxo de microrganismos que entram para o sistema, menos o fluxo de microrganismos que saem do sistema, mais o crescimento líquido dos microrganismos no interior do sistema. Nestas equações, a fracção volátil dos sólidos biológicos em suspensão totais é considerada proporcional à actividade da massa microbiana. Os sólidos em suspensão voláteis são utilizados para representar essa actividade biológica.

Assumindo que a concentração de microrganismos que entram no reactor pode ser desprezada e, que a variação no tanque de arejamento, em condições de estabilidade é nula, $dX/dt = 0$.

Substituindo a expressão (I – 10a), pode escrever-se da seguinte maneira a expressão (I – 13):

$$Q_w X_r + Q_e X_e = V_r (-Y r_{su} - k_d X) \Leftrightarrow \frac{Q_w X_r + Q_e X_e}{V_r X} = -\frac{Y r_{su}}{X} - k_d \quad (I - 14)$$

Então pode-se concluir que a taxa líquida específica de crescimento dos microrganismos (d^{-1}), corresponde a $1/\theta$.

$$\frac{1}{\theta} = -\frac{Y r_{su}}{X} - k_d \quad (1-15)$$

É equivalente dizer que θ corresponde a θ_c , que representa o tempo de retenção de sólidos ou idade das lammas, por ser a relação entre a massa de microrganismos no interior do reactor e o caudal de microrganismos removidos a partir do circuito de recirculação:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_r + Q_e X_e} \quad (1-16)$$

Onde:

θ_c - Tempo de retenção de sólidos, (d).

Balço de massas do substrato

Da mesma forma para a FIGURA I.1, o balanço mássico para o substrato correspondente ao balanço de massa de microrganismos pode-se descrever pela seguinte expressão:

$$\frac{dS}{dt} V_r = Q_0 S_0 - Q_e S + V_r (r_{su}) \quad (1-17)$$

Onde:

$\frac{dS}{dt}$ - Variação da concentração de substrato no reactor, (mg/l.d);

V_r - Volume do reactor, (m^3);

S - Concentração do substrato no reactor, (mg/l);

S_0 - Concentração do substrato que entra no reactor, (mg/l);

$Q = Q_0 = Q_e$ - Caudal que entra e que sai do reactor (m^3/d);

r_{su} - Taxa de utilização do substrato, (mg/l.d)

Substituindo na expressão acima, (1-17), por r_{su} da expressão (1-6), pode se escrever que:

$$\frac{dS}{dt} V_r = QS_0 - QS + V_r \left(-\frac{kSX}{K_s+S} \right) \quad (1-18)$$

Onde:

X - Concentração de microrganismos no reactor, (mg SSV/l);

Assumindo que a variação no tanque de arejamento, em condições de estabilidade, $dS/dt = 0$, e que o caudal que entra é o mesmo que sai, resulta que a expressão (1-18) se possa escrever:

$$0 = QS_0 - QS + V_r \left(-\frac{kSX}{K_s+S} \right) \quad (1-19)$$

Tendo em conta que o tempo de retenção hidráulico, (d) é igual a:

$$\theta = V_r/Q \quad (1-20)$$

Então, substituindo na expressão (1-19) a expressão (1-20) pode-se escrever:

$$\frac{QS_0 - QS}{Q} = \theta \left(\frac{kSX}{K_s+S} \right) \Leftrightarrow \frac{S_0 - S}{\theta} = \left(\frac{kSX}{K_s+S} \right) \quad (1-21)$$

Substituindo a expressão (1-8) pela anterior (1-21), obtém-se que a taxa de utilização do substrato pode ser representada por (1-22):

$$r_{su} = -\frac{S_0 - S}{\theta} \quad (1-22)$$

A concentração de microrganismos no reactor pode ser conseguida substituindo na equação (1-15) pela equação (1-22) e resolvendo em ordem a X :

$$X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \quad (1 - 23)$$

Onde:

X - Concentração de microrganismos no reactor, (mg SSV/ l).

Para o cálculo do volume do tanque de arejamento, resolve-se a equação (1 – 23), substituindo pela equação (1 – 20) e resolvendo em relação a V_r :

$$V_r = \frac{Q}{X} \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{(1 + k_d \theta_c)} \quad (1 - 24)$$

Onde:

V_r – Volume do reactor, (m^3);

Q – Caudal que afluente ao tanque de arejamento, (m^3/d);

θ_c – Tempo de retenção de sólidos, (d);

Y – Coeficiente de rendimento bacteriano máximo, relativo a um período de tempo durante o crescimento logarítmico, (mg SSV/ mg CBO₅);

S – Concentração do substrato no reactor, (mg/l);

S_0 – Concentração do substrato que entra no reactor, (mg/l);

X – Concentração de microrganismos no tanque de arejamento, (mg SSV/ l);

k_d – Coeficiente de respiração endógena, (d^{-1}).

O efeito da respiração endógena no rendimento líquido bacteriano pode ser obtido pela equação (1 – 12), substituindo na equação r'_g , pela equação (1 – 10b) e r_{su} pela equação (1 – 22). Sendo que o X da equação (1 – 10b) é igual à equação (1 – 23):

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c} \quad (1 - 25)$$

Onde:

Y_{obs} – Rendimento líquido bacteriano;

Y – Coeficiente de rendimento bacteriano máximo, relativo a um período de tempo durante o crescimento logarítmico, (mg SSV/ mg CBO₅);

k_d – Coeficiente de respiração endógena, (d^{-1});

θ_c – Tempo de retenção de sólidos, (d).

A concentração do substrato à saída do reactor pode ser obtida através das expressões (I – 15) e (I – 8), resolvendo a equação em ordem a S:

$$S = \frac{K_s (1+k_d \theta_c)}{\theta_c (k Y - k_d) - 1} \quad (\text{I} - 26)$$

Onde:

S - Concentração do substrato no efluente, (mg/l);

Através da seguinte equação consegue-se estimar a produção diária líquida de lamas removidas no tanque de arejamento:

$$P_x = Y_{obs} Q (S_0 - S) \quad (\text{I} - 27)$$

Onde:

P_x - Produção diária líquida de lamas, (kg/d);

Y_{obs} – Rendimento líquido bacteriano;

Q – Caudal que entra afluente ao tanque de arejamento, (m³/d);

S – Concentração do substrato no reactor, (mg/l);

S_0 – Concentração do substrato que entra no reactor, (mg/l).

Taxa específica de utilização do substrato

As equações que representam a concentração de substrato no efluente e a concentração de microrganismos no tanque de arejamento podem ser úteis na previsão dos efeitos produzidos por alterações no sistema, mas são relativamente difíceis de utilizar em virtude das muitas constantes envolvidas.

Por esta razão se definem a taxa específica de utilização do substrato, o tempo de retenção de sólidos, a relação Alimentos/Microrganismos e a relação entre a taxa específica de utilização do substrato e o tempo de retenção de sólidos.

O termo $-r_{su}/X$ é a taxa específica de utilização do substrato, U e pode ser representada pela seguinte expressão (1 – 28) que resulta de, a expressão (1 – 15), em que o X é substituído pela expressão (1 – 23):

$$U = -\frac{r_{su}}{X} = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad (1 - 28)$$

Onde:

U - Taxa específica de utilização do substrato, (d^{-1});

Para determinar a taxa específica de utilização do substrato é necessário conhecer a massa efectiva de microrganismos e o substrato utilizado que pode ser calculado pela diferença entre a CBO afluente e efluente.

A determinação da massa activa de microrganismos é que faz com que esta expressão seja de difícil utilização prática.

Um parâmetro relacionado com a taxa específica de utilização do substrato U , é a relação Alimentos/Microrganismos, que se define como:

$$\frac{A}{M} = \frac{S_0}{\theta X} \quad (1 - 29)$$

Onde:

A/M - Relação Alimentos/Microrganismos ($mg/mg.d$);

S_0 - Concentração do substrato no reactor, ($mg\ CBO_5/l$);

θ - Tempo de retenção hidráulico (d);

X - Concentração de microrganismos no reactor, ($mg\ SSV/l$).

A taxa específica de utilização do substrato (1 – 28) relaciona-se com a anterior relação (1 – 29) pela expressão:

$$U = \frac{A}{M} \times \frac{E}{100} \quad (1 - 30)$$

Onde:

E (%) é a eficiência do processo que se define por:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \quad (1 - 31)$$

Caudal de lamas em excesso

O excesso de lamas activadas produzidas diariamente deve ser removido do sistema para manter uma dada relação Alimentos/Microrganismos ou idade média das lamas o que pode ser realizado removendo as lamas a partir do circuito de recirculação, por serem mais concentradas e por exigirem menor potência aos grupos elevatórios de remoção de lamas.

As lamas activadas em excesso devem ser removidas para espessadores de flotação por ar dissolvido antes de serem digeridas ou desidratadas.

A equação que permite determinar a taxa de remoção de lamas em excesso, admitindo que o tempo de retenção de sólidos ou idade das lamas vai ser utilizada para controlar o processo e que a remoção é realizada a partir do circuito de recirculação, é a (1 – 16) seguinte:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_r + Q_e X_e}$$

Onde:

θ_c - Tempo de retenção de sólidos, (d).

V_r - Volume do reactor, (m^3);

X - Concentração de microrganismos no reactor, (mg SSV/l);

X_e - Concentração d microrganismos que saem no reactor (mg SSV/l);;

X_r - Concentração d microrganismo na recirculação, (mg SSV/l);

Q_e - Caudal que sai do tanque de decantação, (m^3/d);

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

O tempo de retenção de sólidos pode ser utilizado como um parâmetro para o controlo do tratamento sem ser necessário determinar a quantidade de sólidos biológicos activos no sistema ou avaliar a quantidade de substrato utilizado.

A utilização deste parâmetro baseia-se no facto de que para controlar a taxa de crescimento dos microrganismos e a sua capacidade de estabilização das águas residuais, deve ser removida uma certa percentagem de massa celular do sistema, por dia. Essa percentagem é igual a $(1/\theta_c) * 100$.

De facto, num sistema de mistura completa com recirculação, a remoção de biomassa pode ser conseguida a partir do próprio reactor ou do circuito de recirculação, caso em que as lamas são mais espessas.

Admitindo esta última situação, o tempo de retenção de sólidos pode ser calculado por uma expressão simplificada, admitindo que o teor de massa biológica no efluente (X_e) é muito pequeno e pode ser desprezado:

$$\theta_c = \frac{V_r X}{Q_w X_r} \quad (1 - 32)$$

Onde:

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

V_r - Volume do reactor, (m^3);

X - Concentração de microrganismos no tanque de arejamento, ($mg\ SSV/l$);

θ_c - Tempo de retenção de sólidos, (d);

X_r - Concentração de microrganismo na recirculação, ($mg\ SSV/l$).

Em que o numerador representa a massa de lamas no tanque de arejamento e o denominador a massa de lamas que são removidas do sistema. Desta expressão (1 - 32) resulta que:

$$Q_w = \frac{V_r X}{\theta_c X_r} \quad (1 - 33)$$

Onde:

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

Se o tempo de retenção de sólidos for de 10 dias o caudal recirculado será igual à 10% do volume do tanque de arejamento, se a remoção de lamas em excesso realizada a partir do tanque de arejamento.

Admitindo que a remoção de lamas em excesso se faz a partir do tanque de arejamento e admitindo que o tempo de retenção de sólidos ou idade das lamas vai ser utilizada para controlar o processo, então a taxa de remoção de sólidos pode ser determinada a partir da seguinte expressão:

$$\theta_c \approx \frac{V_r}{Q_w} \quad (1 - 34)$$

Se o método de controlo do processo adoptado for o da relação entre Alimento/Microrganismos, então a quantidade de lamas removidas, com remoção a partir da recirculação, pode ser determinado pela expressão:

$$P_x = Q_w \times X_r \quad (1 - 35)$$

Onde:

P_x - Produção diária líquida de lamas, (kg/d);

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

X_r - Concentração de microrganismo na recirculação, ($mg\ SSV/l$).

Esta equação (1 - 35) permite calcular o caudal de lamas removidas para espessamento, quer se a remoção for no tanque de arejamento, quer se for através do circuito de recirculação.

Se a remoção for a partir do circuito de recirculação, então a caudal será diminuído da relação entre as concentrações no tanque e no circuito de recirculação, o que diminui o caudal, mas não diminui a massa de lamas removida que continua a ser de 10%.

A remoção de lamas em excesso exige pois o conhecimento da concentração de biomassa no tanque de arejamento e nas lamas recirculadas.

Essa concentração é função do Índice de Mohlman (IM) ou Índice Volumétrico de Lamas (IVL) que representa o volume, expresso em *ml*, ocupado por 1 *g* (grama) de sólidos totais em suspensão no líquido contido no tanque de arejamento, após um período de sedimentação de 30 minutos.

É uma medida da qualidade das lamas formadas no tanque de arejamento, traduzida pela capacidade de sedimentação das mesmas.

Recirculação das lamas activadas

O objectivo da recirculação de lamas activadas é manter uma concentração suficiente de lamas activadas no tanque de arejamento para que o grau de tratamento desejado seja obtido no intervalo de tempo desejado.

A recirculação das lamas activadas do decantador secundário para a entrada do tanque de arejamento é a mais importante operação do processo pelo que a capacidade de bombeamento deve ser a mais ampla possível (utilizando grupos electrobomba de velocidade variável).

É também importante impedir a fuga de sólidos pelo efluente. Os sólidos formam um manto de lamas no fundo do decantador que varia de espessura e pode preencher a altura total do decantador, em períodos de ponta, se a capacidade de bombeamento da recirculação de lamas for inadequada.

É conveniente que a capacidade de bombeamento seja equivalente a 50 a 100% do caudal médio em ETAR de grande capacidade e de 150% para pequena capacidade.

Podem ser utilizadas várias técnicas para avaliar o caudal de recirculação mais conveniente:

- Manter um valor alvo para o nível de biomassa no tanque de arejamento;
- Manter uma dada profundidade do manto de lamas no decantador secundário.

As técnicas mais utilizadas são o balanço de massas no decantador secundário ou o balanço de massas no tanque de arejamento.

Assumindo que o nível do manto de lamas no decantador permanece constante e que os sólidos no efluente do decantador secundário são negligenciáveis, o balanço de massa no decantador secundário é o seguinte, como se pode ver na FIGURA I.2:

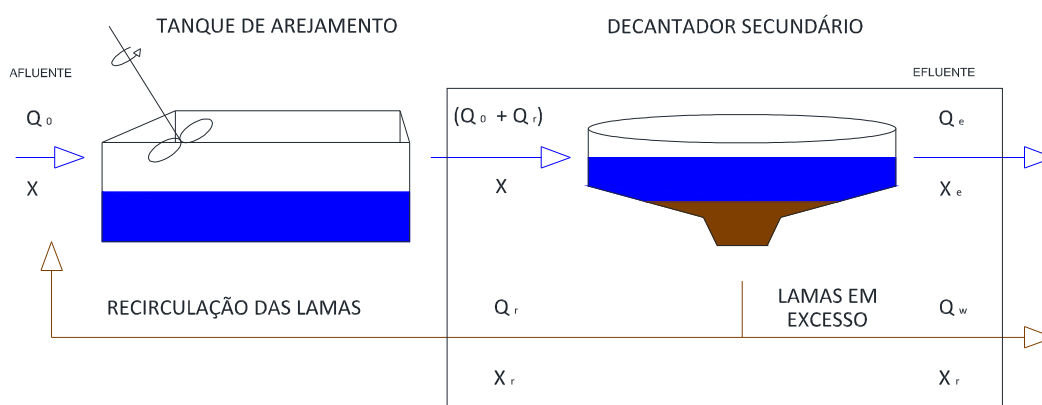


FIGURA I.2 - BALANÇO DE MASSAS NO DECANTADOR SECUNDÁRIO

Acumulação = massa de lamas que entra menos a massa de lamas que sai.

O caudal de recirculação de lamas pode ser representado pela seguinte expressão:

$$Q_r = \frac{X Q_0 - X_r Q_w}{X_r - X} \quad (I - 36)$$

Onde:

Q_r - Caudal de recirculação, (m^3/d);

X - Concentração de lamas no tanque de arejamento, (mg/l);

X_r - Concentração de lamas na recirculação, (mg/l);

Q_0 - Caudal que entra no tanque de arejamento (m^3/d);

Q_w - Caudal de lamas em excesso, (m^3/d);

O balanço de massas à volta do tanque de arejamento pode ser representado pela seguinte expressão, onde se assume que o crescimento de novas células é negligenciável. Como os sólidos que entram no tanque de arejamento são insignificantes em comparação com os no tanque de arejamento, pode-se deduzir da FIGURA I.3 que:

$$Q_r = \frac{X Q_0}{X_r - X} \quad (I - 37)$$

Onde:

Q_r - Caudal de recirculação, (m^3/d);

X - Concentração de lamas no tanque de arejamento, (mg/l);

X_r - Concentração de lamas na recirculação, (mg/l);

Q_0 - Caudal que entra no tanque de arejamento (m^3/d);

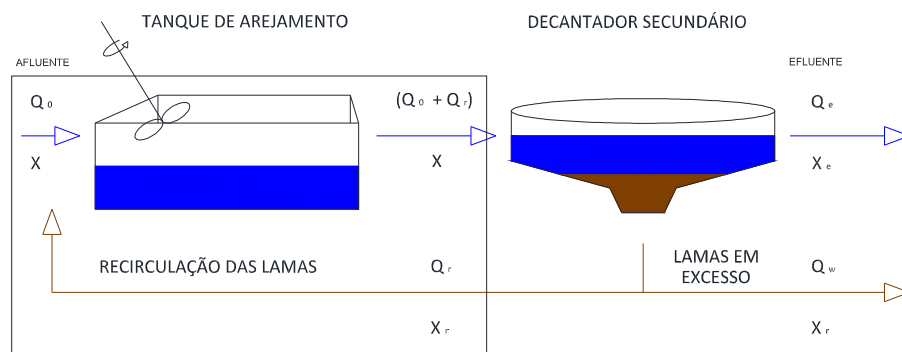


FIGURA I.3 - BALANÇO DE MASSAS NO TANQUE DE AREJAMENTO

Os valores típicos dos parâmetros de projecto dos tanques de arejamento para águas residuais domésticas encontram-se na seguinte tabela: QUADRO I.0.1.

QUADRO I.0.1 – PARÂMETROS TÍPICOS DE PROJECTO PARA OXIDAÇÃO E NITRIFICAÇÃO DA CBO5 SOLÚVEL [ADAPTADO, MACKENZIE L. DAVIS, 2010; METCALF & EDDY, 1991]

Processos	θ_c, dias	A/ M mg/ mg.d	MLSS mg/l	θ horas	R %
Mistura completa	3,0 – 15	0,2 – 0,4	1.500 – 4.000	3,0 – 5,0	25 – 100
Convencional	3,0 – 15	0,2 – 0,4	1.000 – 3.000	4,0 – 8,0	25 – 75
Arejamento por estágios	3,0 – 15	0,2 – 0,4	1.500 – 4.000	3,0 – 5,0	25 – 75

Onde:

θ_c - Tempo de retenção de sólidos (*d*);

A/ M – Relação Alimentos/ Microrganismos (*mg/mg.d*);

MLSS – Sólidos em suspensão no líquido misturado (mixed liquor suspended solids) (*mg/l*);

θ - Tempo de retenção hidráulico (*horas*);

R – Percentagem de recirculação das lamas activadas, (Q_r/Q);

ANEXO II

Concentração das lamas primárias espessadas

Adoptando-se uma concentração de sólidos totais de 6 por cento de sólidos nas lamas primárias espessadas, os 94 por cento restantes são água.

Utilizando a mesma metodologia descrita no capítulo 5, o peso específico das lamas primárias espessadas é:

$$\rho_L = 1.014,61 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

A concentração de sólidos nas lamas primárias espessadas é de:

$$C_{SST_{LP_E}} = \frac{6 \text{ (kg SST)}}{100,00 \text{ kg Lamas}} \times 1.014,61 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 60,88 \text{ (kg SST /m}^3\text{)}$$

Concentração das lamas secundárias espessadas

Adoptando-se uma concentração de sólidos totais de 4 por cento e de sólidos voláteis de 80 por cento e utilizando a metodologia anteriormente utilizada, o peso específico das lamas secundárias espessadas é:

$$\rho_L = 1.004,82 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

A concentração de sólidos nas lamas secundárias espessadas é de:

$$C_{SST_{LS_E}} = \frac{4 \text{ (kg SST)}}{100 \text{ kg Lamas}} \times 1.004,82 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 40,19 \text{ (kg SST /m}^3\text{)}$$

Concentração das lamas do digestor anaeróbio

Após o cálculo da percentagem de sólidos fixos nas lamas digeridas de 63,64%, a percentagem de sólidos voláteis é de 36,36%. Utilizando a metodologia anteriormente utilizada, o peso específico das lamas secundárias espessadas é:

$$\rho_L = 1.012,14 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

A concentração de sólidos nas lamas desidratadas é de:

$$C_{SST_LDA} = \frac{5,5 \text{ (kg SST)}}{100 \text{ kg Lamas}} \times 1.012,14 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 55,67 \text{ (kg SST /m}^3\text{)}$$

Concentração das lamas após a desidratação

Adoptando-se uma concentração de sólidos totais de 20 por cento e de sólidos voláteis de 60 por cento e utilizando a metodologia anteriormente utilizada, o peso específico das lamas secundárias espessadas é:

$$\rho_L = 1.050,42 \text{ (kg /m}^3\text{)}$$

A concentração de sólidos nas lamas desidratadas é de:

$$C_{SST_LD} = \frac{20 \text{ (kg SST)}}{100 \text{ kg Lamas}} \times 1.050,42 \text{ (kg /m}^3\text{)} = 210,08 \text{ (kg SST /m}^3\text{)}$$