



Relatório de Estágio

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Otimização Energética de Sistemas de Arejamento e Agitação

Nicole Danielle Manteigas Feliciano

Leiria, setembro de 2014



Relatório de estágio

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Otimização Energética de Sistemas de Arejamento e Agitação

Nicole Danielle Manteigas Feliciano

Relatório de estágio de Mestrado realizado sob a orientação da Doutora Judite Vieira, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e supervisão do Engenheiro Pedro Fontes, Diretor de Infraestruturas das Águas do Oeste.

Leiria, setembro de 2014

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

À Minha Família

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Começo por agradecer à minha orientadora, Doutora Judite Vieira, pela oportunidade que me deu em realizar o estágio nesta área e por toda a ajuda fornecida para a concretização do mesmo.

Agradeço ao meu supervisor Eng.º Pedro Fontes por todo o tempo despendido, por todo o conhecimento transmitido, por sempre me enquadrar em todos os assuntos mesmo quando não estavam relacionados com o estágio, pela paciência que sempre teve para comigo e por me ter integrado como se fosse um membro do seu departamento.

Agradeço também à empresa Águas do Oeste, ao Administrador-Delegado Eng.º Arménio de Figueiredo por permitir a realização deste estágio e a todos os seus colaboradores pela forma como me receberam e integraram. Gostaria ainda de destacar a Isilda Tomás, a Eng.ª Ana Santos e o Eng.º Márcio Pedrosa que me acolheram no departamento de Infraestruturas e que me auxiliaram sempre que necessário, não só no estágio mas, com o seu companheirismo e amizade.

Gostaria de agradecer à minha família que me acompanhou durante todo o meu percurso académico transmitindo sempre o seu apoio incondicional.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Este estágio foi desenvolvido na Águas do Oeste, no período compreendido entre outubro de 2013 e julho de 2014, tendo como objetivo a otimização energética dos sistemas de arejamento e agitação. A importância deste tema deve-se ao fato de estes sistemas serem responsáveis por cerca de 70% do consumo de uma ETAR.

Identificaram-se possíveis equipamentos a intervencionar e através de pesquisa bibliográfica e consulta de *experts* possíveis soluções em termos de eficiência energética, sendo apresentado neste relatório um resumo das soluções identificadas.

Neste estudo foram avaliados vários casos de estudo em ETAR que servem como base para muitas outras da concessão da Águas do Oeste. Nestas ETAR foram testadas algumas das soluções identificadas.

Desta análise conclui-se que tanto a agitação como o arejamento efetuado na maioria das ETAR é inflexível a variações de carga e/ou excessivo existindo assim oportunidades de otimização tanto na diminuição de equipamentos por tanque como no corte de potência de arejamento e de agitação e na limpeza dos difusores, é muito importante para repor a eficiência de transferência dos mesmos em condições muito semelhantes às de origem (deve ser efetuada regularmente num período que dependerá de ETAR para ETAR). A etapa de desidratação na ETAR da Atouguia da Baleia pode com pequenas alterações ser efetuada sem acompanhamento, ou seja em períodos noturnos, podendo-se assim reduzir o tempo de funcionamento do agitador e arejador do tanque de lamas que atualmente funcionam em contínuo.

Concluiu-se ainda que a otimização dos sistemas de arejamento e agitação é uma área onde existe um longo caminho a percorrer, onde há muito por testar e aplicar e que muitas vezes também passa por mudança de perceções da realidade e comportamentos.

Palavras-chave: Arejamento, Agitação, Eficiência Energética.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

This internship was developed at Águas do Oeste, in the period between October 2013 and July 2014, with the aim of energy optimization of aeration and agitation systems. The importance of this issue is due to this type of systems being responsible for about 70% of the consumption of a Wastewater Treatment Plant (WWTP).

We identified possible equipment to be intervened and through literature review and consultation with expert's possible solutions in terms of energy efficiency and in this report is presented a summary of the identified solutions.

In this study we evaluated several case studies in WWTP that serve as the basis for many others in Águas do Oeste. In some of the WWTP were tested some of the energy efficiency solutions.

From this analysis it is concluded that both agitation and aeration performed in most WWTP are inflexible to load variations and are consuming too much, so is there a opportunity for optimization, reduction of equipment per tank and in cutting power in aeration and agitation, cleaning the nozzles is very important to restore their transference efficiency to conditions very similar to the originals (should be done regularly over a period that depends on WWTP to WWTP). Sludge dehydration in Atouguia da Baleia WWTP can be made at night without monitoring, thus can reduce the running time of the agitator and aerator of the sludge tank currently working on continuous.

It was also concluded that the optimization of aeration and agitation systems is an area where there is a long way to go, where there is much to test and apply and often involves changing reality perceptions and behaviors.

Keywords: Aeration, Agitation, Energetic Efficiency.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de Figuras

Figura 1-Esquema processo de lamas ativadas, fonte (Luizi , 2012).....	2
Figura 2- Mistura em tanques quadrados com apenas um agitador, fonte (ABS, 2014)	
.....	4
Figura 3- Mistura em tanques quadrados com mais do que um agitador, fonte (ABS, 2014).....	5
Figura 4- Agitadores em Valas de oxidação, fonte (ABS, 2014).....	5
Figura 5- Agitadores em Valas com ar difuso, fonte (ABS, 2014).....	6
Figura 6-Agitadores para eliminar curto-circuitos e melhorar o tempo de retenção dentro do tanque, fonte (ABS, 2014).....	6
Figura 7- Percurso até à Sede da Águas do Oeste, fonte (AdO, 2014)	12
Figura 8-Distribuição dos consumos energéticos por etapa de tratamento ETAR de Cadafais, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)	13
Figura 9- Distribuição de consumos energéticos por classe de equipamento, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)	14
Figura 10-Difusor de bolha fina, fonte (ABS Nopon, 2014)	16
Figura 11- SOTE difusores de bolha fina, fonte (ABS Nopon, 2014).....	17
Figura 12-Funcionamento sobrepressores <i>roots</i> , fonte (OMEL, 2012)	18
Figura 13-Relação entre transferência específica de oxigénio e potência específica, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)	19
Figura 14-Importância da velocidade periférica no rendimento de uma turbina, fonte (CEMAGREF, s.d.)	19
Figura 15- Fluxo de rotação (a azul) num tanque com defletores (a vermelho).....	20
Figura 16- Turbina com <i>draft tube</i> , fonte (EPA, 2010)	20
Figura 17- Arejador com múltiplos impulsos, fonte (EPA, 2010).....	21
Figura 18-Rendimento da turbina com a imersão, fonte (Sardinha, 2011).....	22
Figura 19-Diferença de consumo de um arejador de superfície com e sem controlo de OD, fonte (Severn Trent Services, 2004)	23
Figura 20- Apresentação de pontos de amostragem, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014).....	26

Figura 21-Comportamento SV30 para diversas potências, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014).....	27
Figura 22-Potência de agitação para diversas frequências, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014).....	27
Figura 23- Gráfico CBO ₅ , Caudal, carga, temperatura, condutividade e azoto total da ETAR das Gaeiras	31
Figura 24- Distribuição de dados de CBO ₅ de 2008 a 2014, excluindo dados materialmente não relevantes	31
Figura 25- Distribuição de dados de temperatura, de 2012 a 2014, com respetivo desvio padrão.....	32
Figura 26-Modelo de cálculo de necessidades de oxigénio atuais da ETAR de Gaeiras.....	33
Figura 27- ETAR das Gaeiras, fonte (AdO, 2014)	35
Figura 28- Principais fluxos num tanque com arejador de superfície, fonte (Ronzano & DAPena, 2010).....	36
Figura 29- Fluxos no fundo do tanque, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)	36
Figura 30- Curvas de iso-caudal, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)	37
Figura 31-Distribuição pontos de amostragem no tanque	38
Figura 32- Tanque de arejamento em 3D, elaborado em AutoCAD	38
Figura 33- Esquema de cabos montado no tanque	39
Figura 34- Mangueiras a diferentes profundidades	39
Figura 35- Distribuição mangueiras no passadiço	40
Figura 36- Recolhedor de amostras e bomba de vácuo	41
Figura 37-SV30 e Medição de OD com sonda portátil	41
Figura 38-Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 0,3 metros a diferentes frequências	43
Figura 39- Distribuição de oxigénios no tanque a 0,3 metros	43
Figura 40- Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 1,6 metros a diferentes frequências	44
Figura 41- Distribuição de oxigénios no tanque a 1,6 metros	45
Figura 42- Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 2,9 metros a diferentes frequências	45
Figura 43- Distribuição de oxigénios no tanque a 2,9 metros	46

Figura 44-Comportamento SV30 à profundidade de 0,3 metros	47
Figura 45-Comportamento SV30 à profundidade de 1,6 metros	47
Figura 46-Comportamento SV30 à profundidade de 2,9 metros	47
Figura 47- Cones de sedimentação <i>Imhoff</i> , teste SV30 a frequência 30Hz	48
Figura 48- Cones de sedimentação <i>Imhoff</i> , teste SV30.....	48
Figura 49-Potência específica a diferentes frequências	49
Figura 50- Esquema de linha de tratamento São Martinho do Porto, fonte (AdO, 2014).....	51
Figura 51- Limpeza difusores com ácido fórmico, fonte (ABS Nopon, 2014).....	51
Figura 52- Curva da instalação - Estado anterior e atual, caudal/pressão, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)	52
Figura 53- Curva da instalação - Estado anterior e atual, caudal/potência, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)	52
Figura 54- Custos energéticos da instalação e linha de lamas em 2013, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)	56
Figura 55- Custos energéticos da instalação e linha de lamas, expectativa de custos futuros, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014).....	57

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Tabela 1- Valores padrão potência arejadores, fonte (Metcalf & Eddy, 2003)	9
Tabela 2- Valores dos SV30 lidos para os diferentes pontos e profundidades às diferentes velocidades do agitador	26
Tabela 3-CBO ₅ , caudal, carga, temperatura, condutividade azoto total na ETAR Gaeiras	30
Tabela 4- Matriz de correlação dos dados de CBO ₅ , CQO, SST, azoto total e temperatura em relação ao mês	32
Tabela 5-Indicadores relevantes obtidos no ensaio	55

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

3D- Três Dimensões

AdO- Águas do Oeste

A/M: Razão Alimento/Microrganismo

CBO- Carência Bioquímica de Oxigênio

CQO-Carência Química de Oxigênio

DIE- Direção de Infraestruturas

ESAD-Escola Superior de Artes e Design

ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

IDAD- Instituto do Ambiente e Desenvolvimento

MLSS-*Mixed liquor suspended solids*

Ntotal-Azoto total

OD-Oxigênio Dissolvido

OTE-*Oxygen Transfer Efficiency*

OTR-*Oxygen Transfer Rate*

PID- Proporcional-Integral-Derivativo

Ppm-Partes por milhão

SCFM-*Standard Cubic Feet per Meter*

SOTE-*Standard Oxygen Transfer Efficiency*

SST-Sólidos Suspensos Totais

SV30-*Setled Volume after 30 minutes*

TA- Tanque de Arejamento

TKN- *Total kjehldahl nitrogen*

T°C- Temperatura em graus Celcius

VEV-Variador Eletrónico de Velocidade

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Agitação e Mistura	3
2.2 Arejamento	7
2. APRESENTAÇÃO DA ENTIDADE ACOLHEDORA	11
3. ESTÁGIO	13
3.1 Estudo de balanço energético	13
3.2 Estudo de oportunidades de melhoria	15
3.3 Casos de Estudo	25
3.3.1 Otimização do sistema de agitação do tanque anóxico da ETAR de Cadafais	25
3.3.2 Alteração de princípios de funcionamento em sistemas de fornecimento e controlo de arejamento-Análise estatística de dados base	28
3.3.3 Projeto Watt	34
3.3.3 Otimização e Limpeza de sistema de arejamento por difusores – Estação Piloto: ETAR de São Martinho do Porto	50
3.3.4 Alteração de princípios de funcionamento de linhas de lamas ETAR Atougua da Baleia	53
3.4 Indicadores de performance de sistemas com <i>benchmarking interno</i>	59

4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	61
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	67
Anexo secção 3.3.3- Projeto WATT	68
Anexo Secção 3.3.4- ETAR Atouguia da Baleia	73

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

1. Introdução

A eficiência energética constitui atualmente uma prioridade à escala global conduzindo a sociedade a procurar soluções e a implementar medidas que reduzam os custos energéticos.

No âmbito da poupança de energia nas instalações de tratamento de águas residuais o primeiro pensamento mundial é encontrar novas tecnologias de arejamento e agitação que sejam mais eficientes ou tornar as existentes mais eficientes.

A focalização nos processos referidos deve-se ao processo de arejamento consumir 60% ou mais do consumo total de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) e a agitação cerca de 15 a 20% (EMC Engineers, 2007) (WEF, 1997).

Na região Oeste, a maioria das ETAR baseiam-se no processo de tratamento por lamas ativadas de baixa e média carga. No processo de lamas ativadas, o elemento principal é o reator biológico, que tem como maior consumidor energético o arejamento.

O sistema de lamas ativadas além de ser o mais utilizado na Águas do Oeste (AdO) é um dos processos de tratamento biológico mais frequentes de tratamento de águas residuais em todo o mundo. Este tem como princípio básico a manutenção de uma elevada concentração de microrganismos num reator artificialmente arejado denominado de tanque de arejamento, o conteúdo deste tanque, designado por licor misto, é constituído por água residual, microrganismos (vivos, assim como mortos) e material coloidal e suspenso inerte, biodegradável e não biodegradável. A fração particulada do licor misto é designada por sólidos suspensos no licor misto (MLSS) (Barroso, 2012).

Para a formação de lamas é essencial a existência de flocos, sendo estes constituídos, maioritariamente, por bactérias gram-negativas e organismos filamentosos, mas podem incluir vírus, bactérias, protozoários, metazoários e fungos. As bactérias gram-negativas e os organismos filamentosos ajudam na formação dos flocos, mas quando presentes em quantidades excessivas, podem causar problemas no funcionamento das ETAR, uma vez que estes são responsáveis por fenómenos como o bulking e o *foaming*. Como forma de evitar os fenómenos referidos é necessário um controlo apertado do arejamento que se for

demasiado reduzido pode levar à predominância das filamentosas, devendo a redução deste ser muito cuidadosa nunca inferior a 0,5 ppm (Barroso, 2012).

Na figura 1 encontra-se o esquema típico de um processo de lamas ativadas.

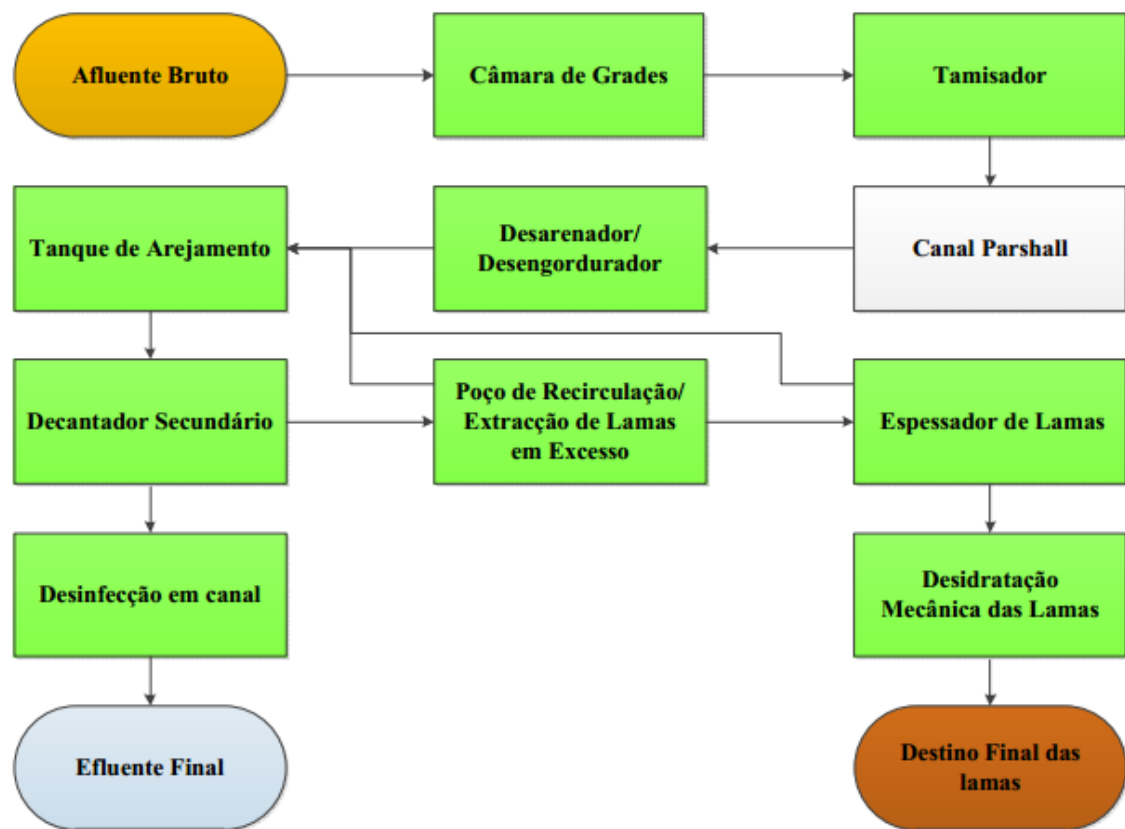


Figura 1-Esquema processo de lamas ativadas, fonte (Luizi , 2012)

O tanque de arejamento, o decantador secundário e a recirculação são os três componentes essenciais de um sistema de lamas ativadas.

Nas águas residuais os tanques que operam em condições aeróbicas, anaeróbicas ou anóxicas necessitam de ser agitados para conseguirem realizar as suas funções adequadamente. No processo de lamas ativadas misturar é importante para a manutenção dos MLSS em suspensão. Na maioria das aplicações os arejadores servem tanto como dispositivos de transferência de oxigénio como de misturadores. Mas, como estes dispositivos consomem muita energia, a combinação de mistura mecânica com arejamento pode resultar em poupanças significativas quando a mistura controla o processo (Metcalf & Eddy, 2003).

Num reator biológico a mistura pode ser verificada observando a turbulência à superfície do reator. A turbulência na superfície do reator deve ser uniforme ao longo do reator, a turbulência violenta não deve estar presente porque é um desperdício de energia e prejudica a agregação de flocos (Metcalf & Eddy, 2003).

1.1 Agitação e Mistura

Agitação refere-se ao movimento induzido de um material num sentido específico através de uma força mecânica, normalmente num padrão circular dentro de um tanque, enquanto que mistura refere-se à distribuição aleatória de material de duas ou mais fases inicialmente separadas, formando uma fase uniformemente homogênea. Por exemplo um tanque com água fria pode ser agitado, mas não pode ser misturado até que outro material seja adicionada (TPO™ Treatment Plant Operator, 2013).

O primeiro agitador submersível foi construído no princípio dos anos 60 e foi rapidamente implementado no tratamento de águas residuais. No fim dos anos 70 esta tecnologia começou a ser utilizada no processo de nitrificação/desnitrificação de lamas ativadas.

Desde aí esta tecnologia é a mais usada no processo de tratamento biológico, pois é altamente eficiente e oferece um meio simples de mistura em reatores aeróbicos, anóxicos e anaeróbicos. Com o aumento do custo da energia na Europa nos anos 80, foram introduzidos no mercado agitadores de pás largas e velocidade baixa, chamados de agitadores submersíveis de ultra eficiência, e nos anos 90 tornaram-se os equipamento standard para agitar lamas ativas na Europa (TPO™ Treatment Plant Operator, 2013).

A escolha do tipo de agitador, assim como da velocidade, posição, presença ou ausência de dispositivos que impedem a formação de vórtices (movimento circular), bem como outras características, estão relacionadas principalmente com a viscosidade e estado físico de reagentes e produtos. Desta forma, o tipo de agitador usado deverá ser selecionado em função da natureza do meio a misturar, obtendo-se assim efeitos diferenciados.

A seleção de um agitador que seja o ideal, é efetuada a partir do cálculo de um volume teórico ideal maior ou igual ao valor calculado para a geometria real da aplicação considerando as características reais do fluido do processo a misturar. Este valor calculado corresponde ao volume real da aplicação corrigido por fatores que traduzem o desvio da geometria do tanque e das características do fluido relativamente às condições ideais. A geometria ideal para um tanque retangular, por exemplo, é definida como uma certa relação entre o comprimento, a largura e a profundidade que empiricamente se constatou como a mais adequada para a mistura. Segundo recomendações da ABS, empresa fornecedora de agitadores para empresas de águas residuais, para posicionamento dos agitadores segundo a geometria do tanque quadrada, quando as condições de mistura podem ser atendidas com apenas um agitador, e o nível de líquido se situa entre 0,3 e 1,0 vezes a largura do tanque, o agitador deve ser localizado, como mostrado nas figuras abaixo e deve ser localizado de modo que o fluxo de jato não irá encorajar um curto-circuito entre a entrada e a saída (ABS, 2014).

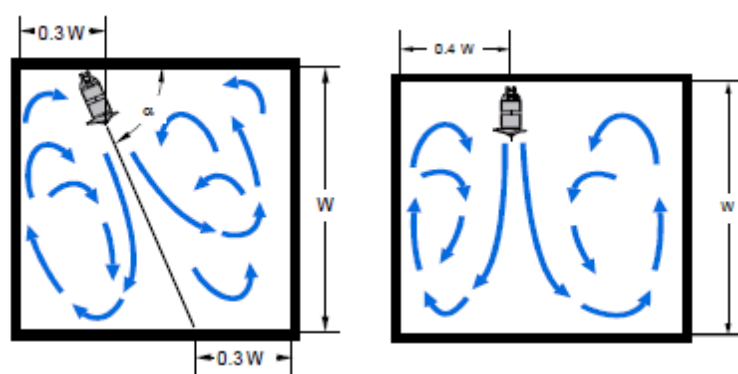


Figura 2- Mistura em tanques quadrados com apenas um agitador, fonte (ABS, 2014)

Para aplicações que requerem mais de um agitador para fornecer os requisitos de mistura o agitador deverá estar localizado, como mostrado nas figuras abaixo. Os agitadores devem ser localizados e orientados para que os seus jatos não estejam dirigidos um para o outro.

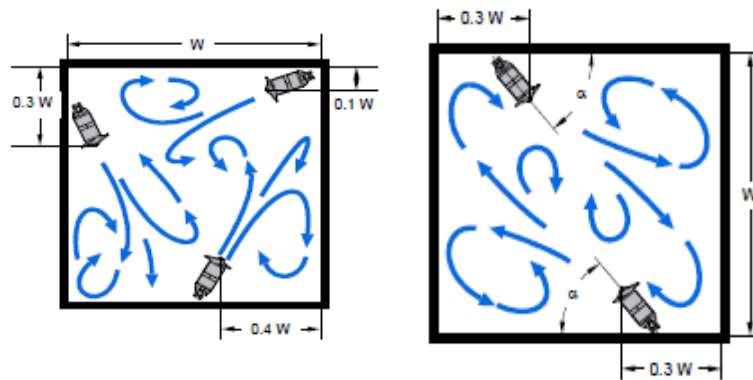


Figura 3- Mistura em tanques quadrados com mais do que um agitador, fonte (ABS, 2014)

Nas valas de oxidação o mais usual é a utilização de geradores de fluxo, nestes o parâmetro de *design* é a velocidade média horizontal (0,3 m/s). Esta velocidade traduz a necessidade de evitar a deposição da biomassa, mas o problema é mais complexo dado que esta velocidade afeta a eficiência do arejamento no sentido em que uma eventual turbulência excessiva aumenta o volume das bolhas de ar produzidas pelo sistema de arejamento o que, por sua vez, corresponde a uma redução da superfície total de contacto entre a fase líquida e a fase gasosa, limitando deste modo o fluxo de difusão do oxigénio da segunda para a primeira. Assim, para além da velocidade média horizontal, é de particular importância para otimização do funcionamento do reator biológico o correto posicionamento do sistema de aceleração de fluxo em relação à zona de arejamento (zona aeróbia) (ABS, 2014).

Segundo recomendações da ABS, nas valas de oxidação, os geradores de fluxo devem ser posicionados uniformemente ao redor do tanque, como mostrado na figura abaixo.

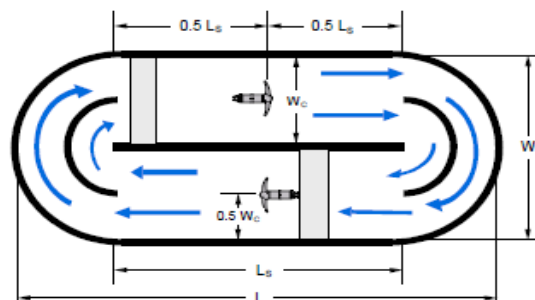


Figura 4- Agitadores em Valas de oxidação, fonte (ABS, 2014)

Para vales de oxidação com ar difuso, os geradores de fluxo devem estar localizados como mostrado na figura abaixo, desta forma irá se evitar o excesso de fluxo só numa hélice causado pela turbulência do fluxo.

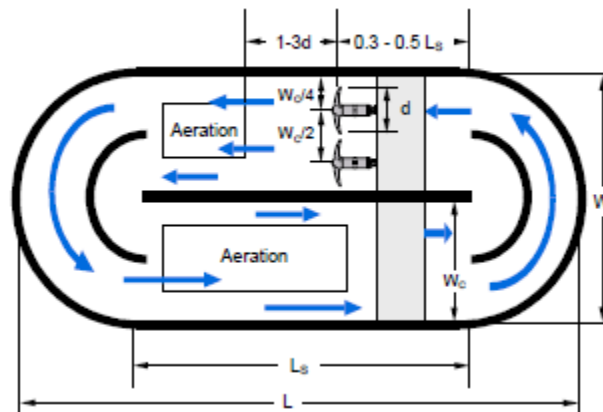


Figura 5- Agitadores em Valas com ar difuso, fonte (ABS, 2014)

Os agitadores são ainda utilizados para eliminar curtos circuitos existentes nos tanques, existindo um curto-circuito os agitadores podem ser colocados de modo a evitar a saída de algum líquido não misturado e o aumento do tempo de retenção do líquido dentro do tanque, como se pode observar na figura abaixo. Neste caso o posicionamento correto do agitador depende da localização das entradas e saídas do líquido do tanque (ABS, 2014).

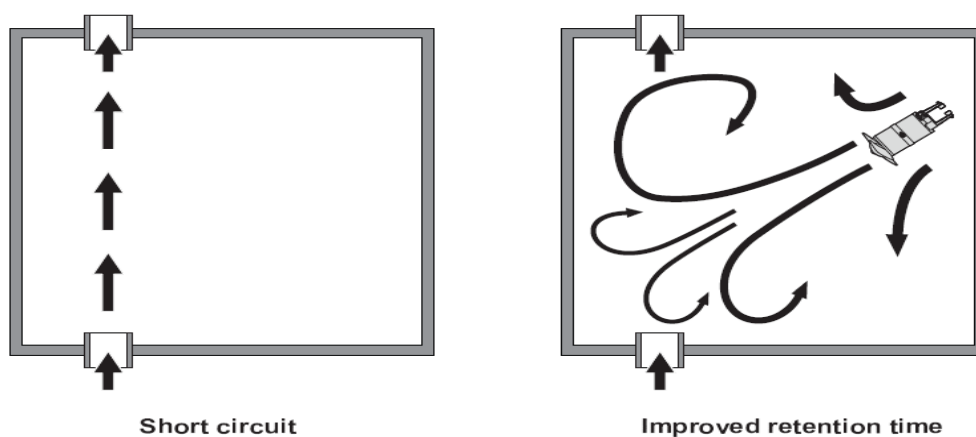


Figura 6-Agitadores para eliminar curto-circuitos e melhorar o tempo de retenção dentro do tanque, fonte (ABS, 2014)

Podem ser efetuados testes de performance em agitadores tipo agitador que incidem genericamente sobre:

- Sólidos depositados como % do volume do tanque;
- Analisar o movimento à superfície, após estado estacionário. Deve ser observado um movimento lento à superfície, utilizando um bastão flutuante e registando posição a cada 5 min;
- Analisar suspensão/ ressuspensão, retirar amostra de fundo e comparar com superfície. Nas zonas mortas não deverá exceder 25% da profundidade.

No caso de geradores de fluxo acresce ao acima mencionado a determinação de velocidade na secção de valas de oxidação numa malha de pontos de medição que caracterizem essa secção (ABS, 2014).

2.2 Arejamento

O arejamento tem uma dupla função, fornecer oxigénio aos microrganismos aeróbios do reator para a sua respiração e manter os flocos microbiológicos num estado contínuo de suspensão agitada, que assegura um máximo contacto entre a superfície do floco e a água residual. A contínua ação de mistura é importante não só para assegurar alimento adequado, mas também um gradiente de concentração de oxigénio máximo para promover transferência de massa e ajudar a dispersar produtos finais do metabolismo do interior do floco (GRAY, 1999).

O processo de arejamento prolongado utiliza longos períodos de tempo de retenção (18 a 24 horas) e baixos fatores de carga, o que resulta numa produção mínima de lamas, mas com altas necessidades em oxigénio por quantidade (kg) de carência bioquímica de oxigénio (CBO) removido. O processo pode ser operado em qualquer tipo de tanque (ECKENFELDER, 1992).

Devido às variações diurnas de CBO e cargas de amónia, a necessidade de oxigénio varia com o tempo seguindo um certo padrão diurno e incorpora uma série de componentes imprevisíveis. Se o oxigénio for oferecido a um ritmo constante, igual à média da necessidade de oxigénio, tanto haverá períodos em que existirá falta de arejamento, como

períodos em que existirá arejamento em excesso, durante o dia. Para evitar esta situação, a taxa de transferência de oxigénio deve ser correspondente à necessidade de pico, levando naturalmente a períodos de arejamento em excesso durante o dia (SPERLING, 2007). A modelação do caudal mássico de oxigénio deve assegurar, tanto quanto possível, um ajuste entre necessidade e fornecimento, ajustando-se variações diárias e sazonais.

Devido às reações bioquímicas em que ocorre maior consumo de oxigénio com o aumento da temperatura, os níveis de oxigénio dissolvido tendem a ser mais críticos nos meses de verão. O problema agrava-se nos meses de verão porque o caudal é baixo e a quantidade total de oxigénio disponível também é baixa (Cotrim, 2013).

A presença de oxigénio dissolvido na água residual é desejável porque previne a formação de odores tóxicos. O limitar de valores de oxigénio dissolvido pode originar problemas de *bulking*. Assim os valores de oxigénio dissolvido podem ser controlados pelos equipamentos de operação e pelo arejamento adequado, impedindo a carência de oxigénio. (Metcalf & Eddy, 2003).

A maior parte do oxigénio que deve ser transferido para dentro do tanque deve suprir as necessidades dos microrganismos das lamas ativadas para oxidarem a matéria orgânica. Na prática, como as reações de transformação do oxigénio de gás para líquido são relativamente lentas, só uma pequena parte é consumida pelos microrganismos e assim os organismos filamentosos podem predominar, havendo diminuição da capacidade de sedimentação e da qualidade da lama. No geral, a concentração de oxigénio dissolvido no tanque deve ser mantida entre os 1,5 e os 2mg/L, se não houver nitrificação e 3mg/L com nitrificação. Valores acima dos 4mg/L não interferem significativamente na operação, mas aumentam consideravelmente os custos de energia (Metcalf & Eddy, 2003) (Ronzano & DAPena, 2010) (Cotrim, 2013).

De acordo com Metcalf & Eddy, 2003, o equipamento de arejamento deve ser dimensionado para um mínimo de oxigénio dissolvido residual no tanque de arejamento de 2mg/L. O equipamento de arejamento deve ser concebido para ter grande facilidade em, identificar o mínimo e máximo de exigência em oxigénio, prevenir o arejamento excessivo e poupar energia.

Não obstante os sistemas analisados na Águas do Oeste demonstram que valores da ordem dos 0,8 p.p.m asseguram as necessidades de um sistema pelo que, assumindo um risco controlado e estudando caso a caso, é possível conciliar risco operacional associado aos 0,8 p.p.m com redução de consumos energéticos.

No tratamento de águas residuais são utilizados vários tipos de sistemas de arejamento. O sistema usado depende da função para que é desenvolvido, do tipo e geometria do reator, dos custos de instalação e da operação do sistema.

Os principais tipos de sistemas de arejamento são, sistemas por ar difuso e sistemas por arejamento mecânico. Os arejadores mecânicos são divididos em dois grupos, com base no *design* do equipamento e características da operação, arejadores com eixo vertical e arejadores com eixo horizontal. Estes dois grupos ainda se subdividem em arejadores de superfície ou submersos. No caso dos arejadores submersos, o oxigénio provém da atmosfera e, em alguns casos, de ar ou oxigénio puro introduzido no fundo do tanque. Em alguns casos, a bombagem ou agitação dos arejadores ajuda a manter a mistura do conteúdo do tanque de arejamento (Cotrim, 2013).

Os mecanismos de arejamento à superfície com eixo vertical são concebidos para induzir corrente ascendente ou descendente através de uma ação de bombagem. Os arejadores de superfície consistem em impulsores total ou parcialmente submersos, acoplados a motores montados sobre flutuadores ou estruturas fixas (Metcalf & Eddy, 2003) (Cotrim, 2013).

O tamanho e a forma do tanque de arejamento são muito importantes para que haja uma boa mistura. A potência do arejador depende da altura e largura do tanque. Os valores padrão são dados pela tabela 1:

Tabela 1- Valores padrão potência arejadores, fonte (Metcalf & Eddy, 2003)

Potência do arejador	Dimensões do tanque	
	Unidades SI (m)	
kW	Altura	Largura
7,5	3 – 3,5	9 – 12
15	3,5 – 4	10 – 15
22,5	4 – 4,5	12 – 18
30	3,5 – 5	14 – 20
37,5	4,5 – 5,5	14 – 23
55	4,5 – 6	15 – 26
75	4,5 – 6	18 – 27

Tipicamente a exigência energética para manter o regime de mistura completa nos arejadores mecânicos varia entre 20 e 40 kW/10³m³, dependendo do tipo e forma do arejador, da natureza e concentração dos sólidos suspensos, da temperatura e da geometria do tanque (Metcalf & Eddy, 2003) (Cotrim, 2013).

2. Apresentação da Entidade Acolhedora

A empresa Águas do Oeste, S.A iniciou a sua atividade em 2001, como concessionária do Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e Saneamento do Oeste. A concessão da Águas do Oeste prolonga-se por um período de 35 anos e serve os Municípios de Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Mafra, Nazaré, Óbidos, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço e Torres Vedras, abrangendo assim uma área de 2900 km² (AdO, 2014).

A Águas do Oeste tem por acionistas a Águas de Portugal, SGPS, S.A., a Comunidade Intermunicipal do Oeste e os 14 Municípios referidos.

A nível de sistema de Saneamento a ADO tem cerca de 74 ETAR em operação, 149 estações elevatórias e 557 km de rede de coletores e emissários (figura 6), servindo mais de 341 mil pessoas (AdO, 2014).



Figura 6- Sistema de Saneamento, fonte (AdO, 2014)

O estágio foi efetuado no Departamento de Infraestruturas (DIE) sediado no Convento S. Miguel das Gaeiras, Gaeiras (localização ilustrada na figura 7) supervisionado pelo Engº Pedro Fontes Diretor de Infraestruturas da AdO.



Figura 7- Percurso até à Sede da Águas do Oeste, fonte (AdO, 2014)

3. Estágio

3.1 Estudo de balanço energético

Foi efetuada a segregação de consumos de equipamentos em ETAR identificando-se os mais relevantes de acordo com tipologias de tratamento, como se pode verificar na figura abaixo.

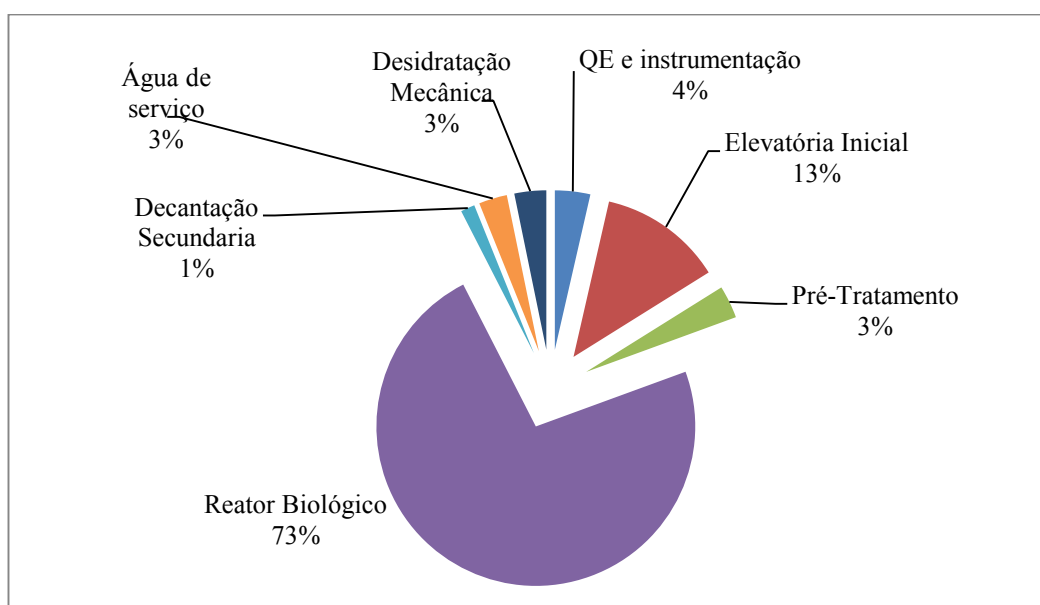


Figura 8-Distribuição dos consumos energéticos por etapa de tratamento ETAR de Cadafais, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Ao analisar-se os consumos energéticos por etapa de tratamento da ETAR de Cadafais, que serve de base para 7 outras ETAR da concessão, verifica-se que o reator biológico representa cerca de 73% do consumo energético da ETAR.

Em termos de equipamentos pode verificar-se que os arejadores submersíveis (hidroinjetores) desta ETAR são responsáveis por 53% do consumo da mesma seguindo-se os agitadores do tanque anóxico responsáveis por 12%. Assim sendo, nesta ETAR o arejamento e agitação são responsáveis por 67% do consumo total da ETAR, como se pode verificar na figura abaixo.

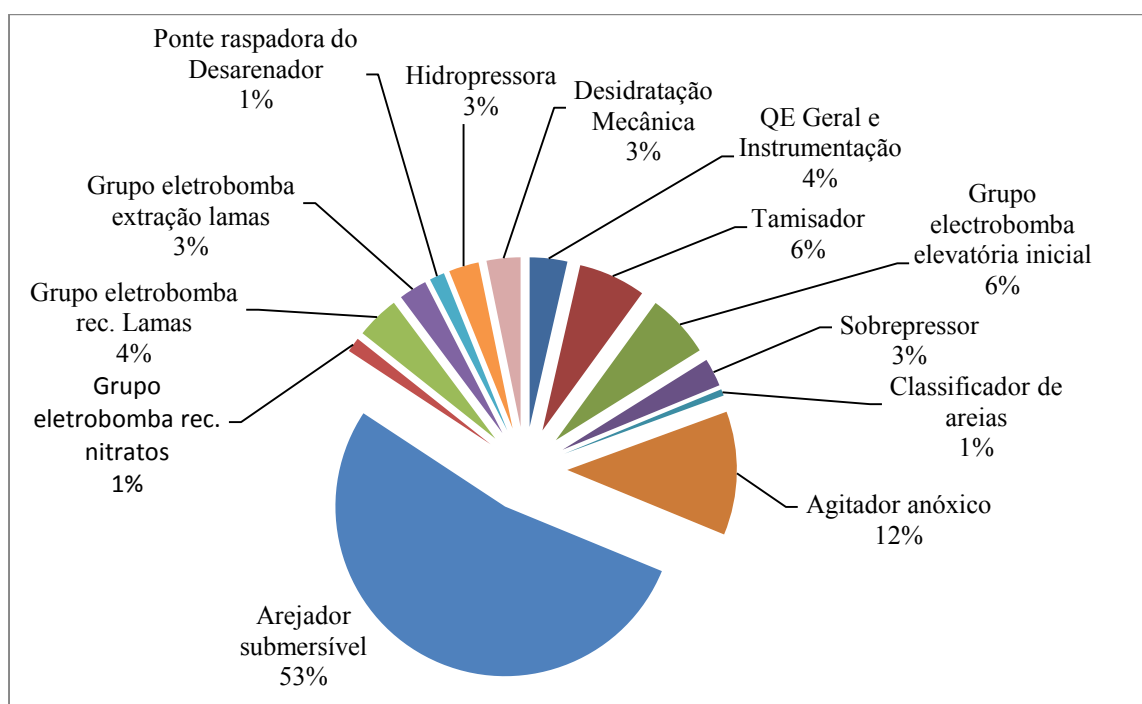


Figura 9- Distribuição de consumos energéticos por classe de equipamento, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Este processo foi repetido em outras ETAR representativas e a conclusão foi semelhante, o reator biológico corresponde ao processo mais consumidor de energia. apesar de menos expressivo noutras ETAR.

Assim sendo chegou-se à conclusão que os arejadores e agitadores seriam os equipamentos estudados e intervencionados pois, são representativos de cerca de metade do consumo energético da concessão.

O passo seguinte foi efetuar um levantamento de todos os agitadores e arejadores da concessão criando uma base de dados com localização, potência, funcionamento, marca e modelo, entre outras características de forma a identificar os equipamentos mais consumidores.

3.2 Estudo de oportunidades de melhoria

O primeiro passo neste estágio foi estudar a teoria subjacente ao processo de arejamento e agitação e as suas implicações. O segundo passo foi perceber os aspetos teóricos e práticos dos vários equipamentos e as oportunidades de melhoria já implementadas de acordo com dados da literatura que poderiam ser aplicáveis à realidade da AdO.

A poupança energética pode ser conseguida desenhando e operando os sistemas de arejamento de modo a se aproximarem o mais possível dos requisitos de oxigénio do processo percebendo as flutuações diárias e sazonais da ETAR, conseguindo flexibilidade na instalação para acompanhar em tempo real estas mesmas flutuações.

A maioria das instalações tem uma maior capacidade instalada para arejamento do que aquela que necessita atualmente, porque a população considerada no projeto é a um horizonte de 30 anos, que ainda não ocorreu e que provavelmente nem virá a ocorrer. Nesta situação, pode não ser possível o sistema funcionar eficientemente com a carga atual. Em cada instalação deve verificar-se se a taxa de crescimento populacional atual continua igual à prevista em projeto ou não, pois este facto pode levar a oportunidades de poupança significativas.

Como solução de otimização para a capacidade de arejamento excessiva devem ser determinados os atuais requisitos de ar do sistema, de modo a verificar o que se pode reduzir no arejamento (WEF, 2009). Tendo este objetivo como ponto de partida foi elaborado um relatório com o tratamento estatístico de dados de base da maioria das ETAR de forma a analisar os requisitos atuais do sistema. A metodologia e as conclusões serão apresentadas mais à frente.

Nas Águas do Oeste os sistemas de arejamento existentes têm como equipamentos de arejamento instalados turbinas lentas, rotores, hidrojatores e difusores de bolha fina com injeção de ar por sobrepressores de deslocamento positivo, sendo assim o estudo de oportunidades de melhoria no arejamento foi focado nestes equipamentos e no controlo de oxigénio.

Difusores de bolha fina

São difusores porosos com uma elevada taxa de transferência de oxigénio (OTE) figura 10, o maior aspeto negativo é que estão sujeitos a fenómenos de *fouling* ou seja os microrganismos ficam fixos à membrana impedindo a passagem de ar diminuindo assim a eficiência dos mesmos.

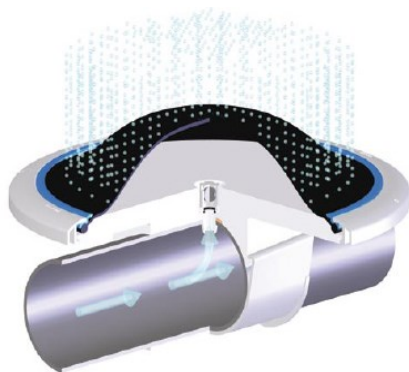


Figura 10-Difusor de bolha fina, fonte (ABS Nopon, 2014)

Para superar o aspeto referido anteriormente é necessário periodicamente limpar os difusores, injetando ácido fórmico na tubagem de arejamento. A frequência de limpeza varia com o tipo de difusor e com as características do efluente. Em geral, a limpeza a cada 12 a 24 meses restaura os difusores para uma eficiência muito semelhante à de origem. A monitorização da pressão do sistema ou da eficiência, permite determinar a frequência ótima de limpeza. Quando a limpeza não melhora a eficiência (sendo esta baixa) é necessário uma substituição da membrana dos difusores (WWEE, 2008).

O caso da limpeza dos difusores foi analisado na ETAR de São Martinho do Porto pela AdO e será apresentado mais à frente.

No que diz respeito à disposição dos difusores no tanque, uma solução é colocar mais difusores no local de entrada de esgoto, onde a carga é superior e diminuir o número de difusores ao longo do comprimento do tanque. Desta forma, fornece-se mais oxigénio à entrada onde os requisitos A/M, razão alimento/microrganismo, são superiores e diminui-se ao longo do comprimento onde os requisitos A/M vão também diminuindo.

As condições de operação também influenciam a eficiência *standard* de transferência de oxigénio (SOTE), valores muito elevados de oxigénio dissolvido (OD) reduzem as “forças de condução” movendo o oxigénio da bolha de ar para a água, um equívoco comum é que a taxa de remoção do processo melhora com valores de OD,

elevados, testes de campo indicam que mantendo o OD entre 1 a 2 mg/l melhora a eficiência energética sem afetar o processo biológico (Jenkins et all, 2008).

Como se pode verificar na figura abaixo, nos difusores de bolha fina, ao diminuir o caudal de ar por difusor obtêm-se ganhos substanciais de eficiência, logo ao ajustar-se a quantidade de ar aos requisitos do sistema, além da redução de arejamento, aumenta a eficiência dos difusores.

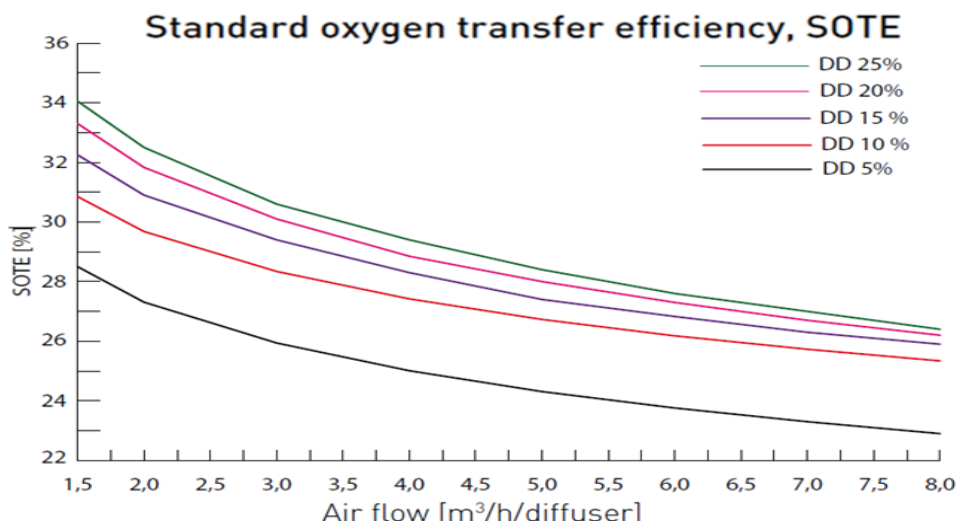


Figura 11- SOTE difusores de bolha fina, fonte (ABS Nopon, 2014)

Sobrepressores de deslocamento positivo

Os sobrepressores de deslocamento positivo ou *roots* têm um par de rotores trilobulares, com perfil conjugado girando em sentidos diferentes. Estes aprisionam o ar ou gases na câmara entre os rotores e a carcaça da máquina conduzindo-os à descarga da máquina. Quando os rotores deixam o ar sair para a descarga, passo 4 da figura 12, a pressão do ar ajusta-se automaticamente à pressão encontrada no próprio sistema forçando o ar a sair do sobrepresor. O ar não é capaz de voltar para dentro do sobrepresor devido a existir uma folga muito pequena entre os rotores e a carcaça da máquina. Nestes sobrepressores o consumo energético é diretamente proporcional ao fluxo de ar e pressão, e fornecem um caudal constante a uma velocidade constante (OMEL, 2012).

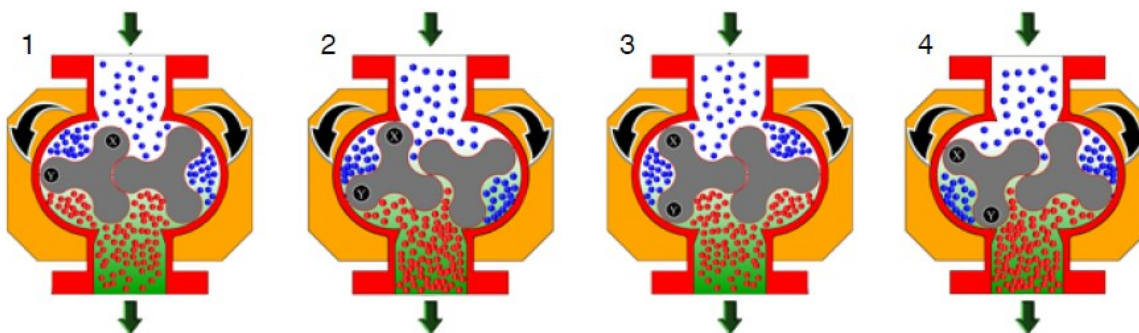


Figura 12-Funcionamento sobrepressores *roots*, fonte (OMEL, 2012)

Neste tipo de sobrepressores, como medida de otimização deve identificar-se o mais eficiente, ou seja maior SCFM/KW, e programar o sistema para que este seja o sobrepressor mais solicitado. Se a instalação tiver sobrepressores de várias capacidades, deve programar-se para se ajustarem às necessidades diurnas e noturnas, ou seja os de menor capacidade devem ser utilizados no período noturno (P.E., 2012).

Verificando o caudal e pressão dos sobrepressores pode verificar-se na curva de fabrico se estes estão a operar no ponto mais eficiente (P.E., 2012).

Otimizar o controlo do fluxo de ar no tanque, o fluxo introduzido pelos sobrepressores é dividido por vários tanques e por várias grelhas no mesmo tanque, o fluxo de ar em cada zona deve ser proporcional à necessidade do processo em cada zona. Em ETAR pequenas o controlo é feito manualmente, enquanto que nas maiores é controlado por válvulas que continuamente modelam o fluxo de ar à concentração de OD (P.E., 2012).

Sabendo as necessidades reais de oxigénio da instalação e esta não tendo sobrepressores de várias capacidades ou de capacidades que se ajustem às necessidades reais da instalação, deve ser adquirido um sobrepressor mais pequeno para satisfazer estes requisitos, ou utilizar um existente e trocar-lhe a relação de polis, ou instalar variadores eletrónicos de velocidade (VEV) (P.E., 2012). Esta última medida está a ser estudada pela AdO.

Outra solução que carece de mais investimento é a substituição dos sobrepressores existentes por turbocompressores podendo levar a reduções significativas no consumo energético (Middleton et all, IWA 2011).

Turbinas lentas

Numa turbina lenta a potência específica elevada não é desfavorável para a transferência de oxigénio em esgoto, pois o gráfico é uma reta como se pode observar na figura 13.

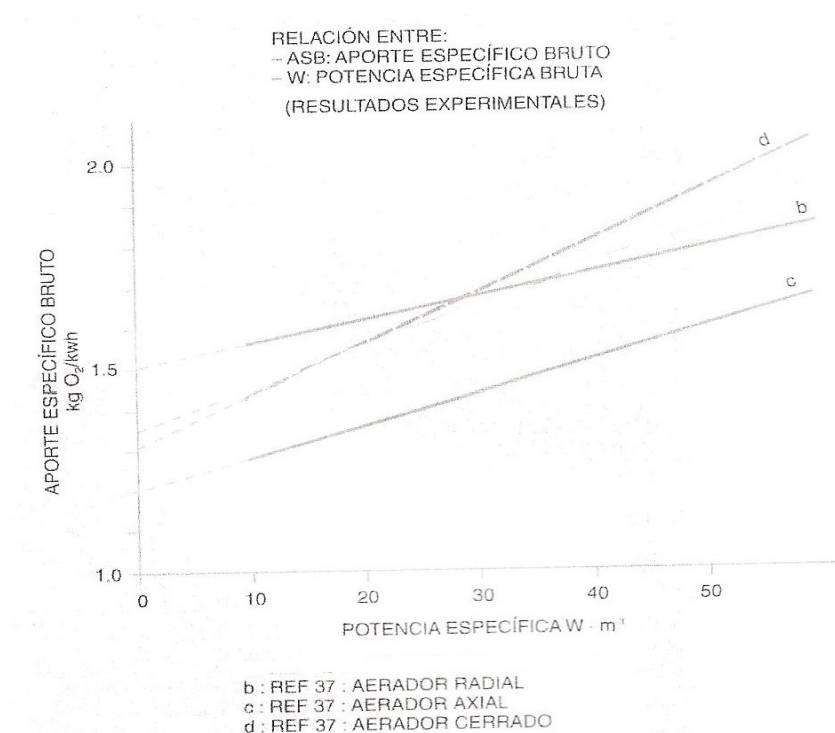


Figura 13-Relação entre transferência específica de oxigénio e potência específica, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)

Por outro lado o rendimento aumenta com a diminuição da velocidade periférica, esta deve ter valores entre os 4 e os 6 m/s e depende do tipo de turbina, figura 14.

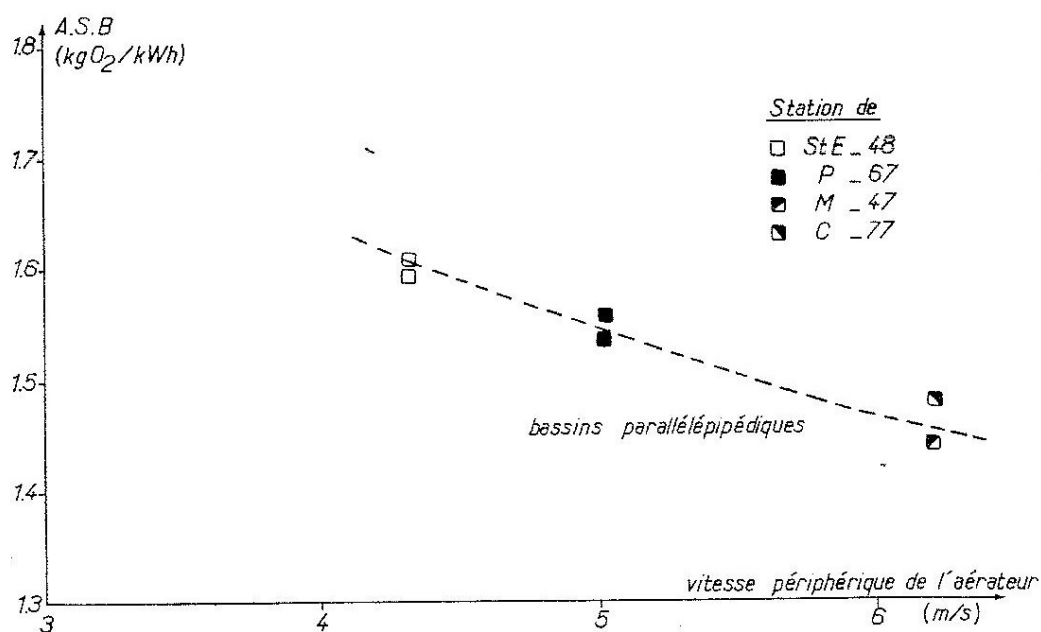


Figura 14-Importância da velocidade periférica no rendimento de uma turbina, fonte (CEMAGREF, s.d.)

Desta forma o ponto ótimo vai depender do equilíbrio entre o aumento de potência específica e a diminuição de velocidade periférica.

O fluxo de rotação superficial criado pela turbina deve ser quebrado pelas paredes, caso contrário pode entrar num processo chamado ressonância hidráulica e cavitação que é desfavorável para a transferência de oxigênio. Se o fluxo não chegar às paredes do tanque, para que este vórtice seja quebrado deve colocar-se defletores como se pode verificar na figura 15 (GWATER, 2014).

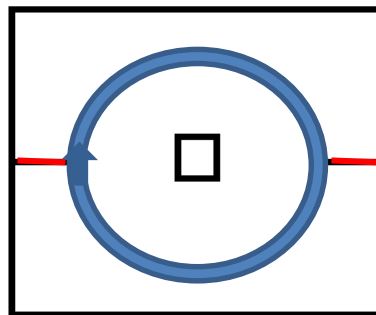


Figura 15- Fluxo de rotação (a azul) num tanque com defletores (a vermelho)

A relação altura largura certa para a turbina gerar momento suficiente para aspiração é $Altura = \frac{Largura}{4}$. Se o tanque não verificar estes requisitos provavelmente tem zonas mortas a partir de uma determinada profundidade do tanque, que podem ser resolvidas com agitadores ou com *draft tubes* (GWATER, 2014).

A incorporação de *draft tubes* imagem abaixo elimina como já foi referido as zonas mortas redirecionando o fluxo para cima, aumentando o tempo de mistura à superfície (GWATER, 2014).

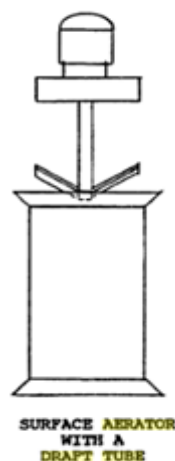


Figura 16- Turbina com *draft tube*, fonte (EPA, 2010)

Um novo desenvolvimento nos arejadores mecânicos é o uso de múltiplos impulsores, figura 17, estes arejadores incluem um impulsor abaixo do principal junto ao fundo do tanque, este impulsor promove uma energia de mistura adicional no fundo do tanque, permitindo reduções de potência quando associado a um VEV (EPA, 2010).



Figura 17- Arejador com múltiplos impulsores, fonte (EPA, 2010)

Verificar se a submersão do arejador mecânico está no ponto em que produz a maior mistura e arejamento ao menor consumo de corrente, sendo o ponto ótimo o referido pelos fabricantes normalmente $2/3$ da turbina fora de água. Este assunto é um ponto de discórdia entre autores havendo quem afirme que esta questão é muito importante e que devia ser ajustável com a diferença de nível de líquido e outros como o CEMAGREF que experimentalmente alegam que a submersão não é assim tão relevante devendo ser colocada como indicam os fabricantes.

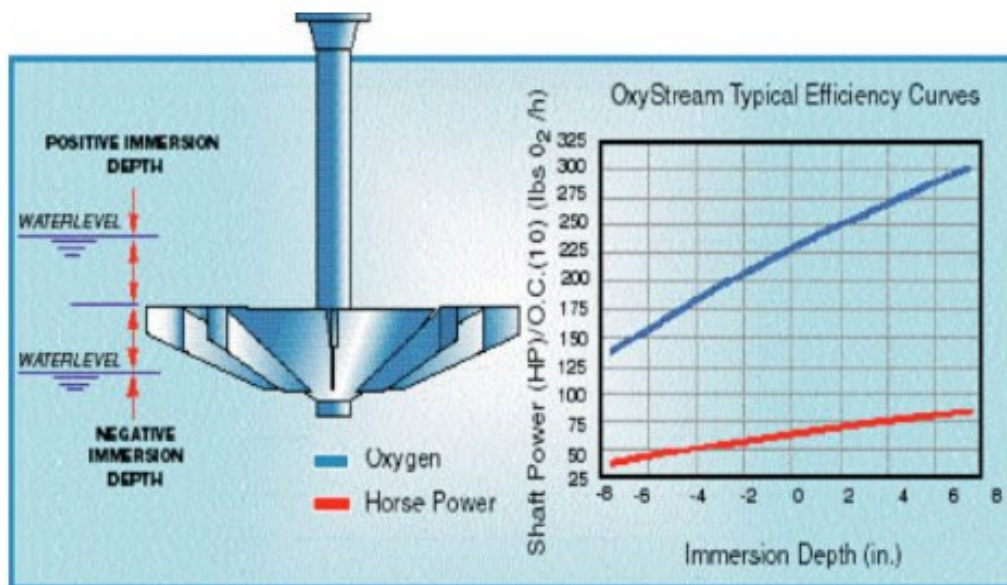
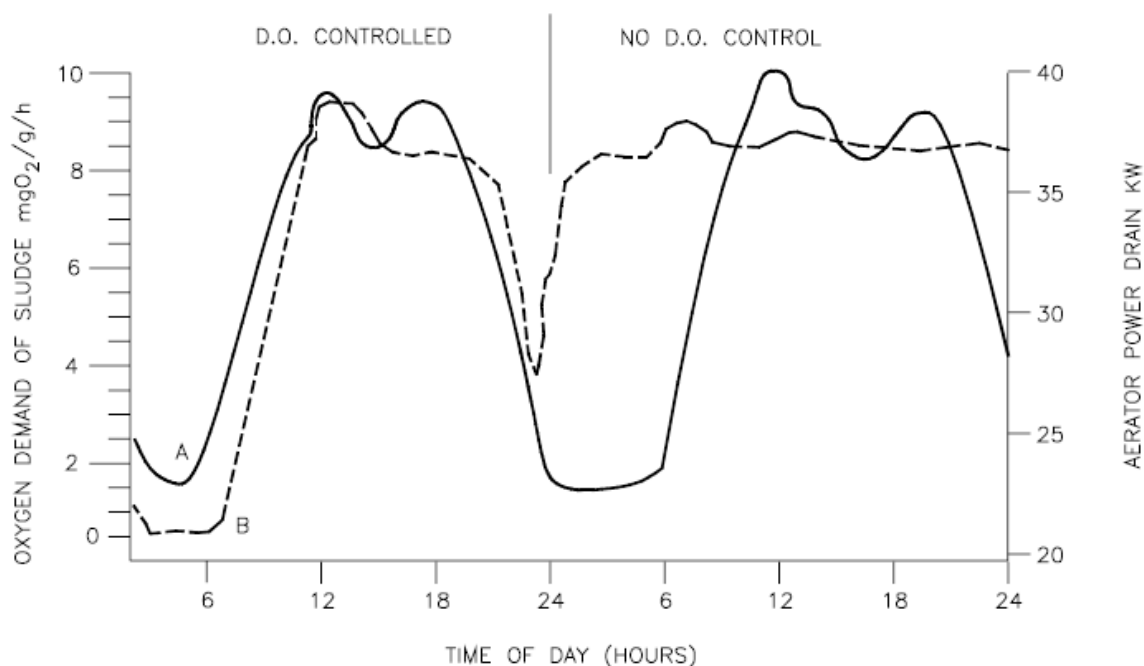


Figura 18-Rendimento da turbina com a imersão, fonte (Sardinha, 2011)

Controlo de OD

Automação do controlo de OD é uma medida importante que pode ter impacto rápido na poupança de energia. As necessidades de oxigénio num tanque seguem o mesmo padrão ao longo do dia, descendo ao meio da noite e aumentando de manhã e ao final da tarde. O rácio entre o valor máximo e o valor mínimo pode ser tipicamente de 2:1, mas em instalações mais pequenas o rácio pode ser muito superior.

A (WEF, 1997) estima que um controlo apertado do OD pode levar a poupanças de 10 a 30% dos custos energéticos totais da instalação.



A. Typical diurnal variation in oxygen demand of an oxidation ditch type activated sludge system.

B. Surface aerator power consumption with and without D.O. Control.

Figura 19-Diferença de consumo de um arejador de superfície com e sem controlo de OD, fonte (Severn Trent Services, 2004)

Um sistema automatizado de controlo de OD inclui assim, sondas de OD, que devem ser instaladas em cada tanque de arejamento à entrada, no centro e a um terço do final do tanque, sistema de controlo do processo, limpeza e verificação de calibração de Sondas de OD duas vezes por mês (EPA, 2010).

Agitadores

A mistura de águas residuais gasta demasiada energia. Segundo experiências alemãs 2-3 W/m³ é suficiente (Olsson, 2011).

Uma solução para reduzir os gastos de energia na mistura de águas é, reduzir o número de misturadores e/ou a velocidade das unidades até ao ponto em que se começa a observar os sólidos suspensos a assentar (a observação pode ser visualmente através da superfície ou por amostras retiradas a várias profundidades) (P.E., 2012). A velocidade das unidades pode ser controlada por um VEV.

Neste sentido na AdO foi diminuído o tempo que os agitadores permanecem em funcionamento, depois de um caso de estudo efetuado na ETAR de Cadafais apresentado

mais a frente que prova que os tempos podem ser reduzidos, e colocação de contactores relógio naqueles que ainda não têm, de forma a evitar ao máximo que estes trabalhem em contínuo, mas confinando-se os arranques de modo a ajustar a agitação à necessária. Com esta medida obtém-se o aumento da vida útil dos equipamentos, redução dos consumos energéticos e redução do tempo de manutenção.

No caso do arejamento, têm sido utilizados sistemas combinados de misturadores de alta eficiência com equipamento de arejamento, para se desligar os arejadores nas horas de eletricidade mais cara levando a poupanças significativas. Mas os misturadores são apenas ligados quando se pretende desligar os arejadores (Mooers Products, 2010-2012), (Daw et al, janeiro,2012).

Outras oportunidades de poupança pensadas e implementadas são a incorporação de energias renováveis (solar, eólica, hídrica e biomassa) geradas *in-situ*. Estações de tratamento de águas com digestores anaeróbicos fornecem uma oportunidade única de criar calor e potência *in-situ*, através da captura de emissões de biogás como combustível para geração de energia (Daw et al, janeiro,2012).

3.3 Casos de Estudo

3.3.1 Otimização do sistema de agitação do tanque anóxico da ETAR de Cadafais

Com o objetivo de identificar formas para reduzir o consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono (CO₂), foi desenvolvido um caso de estudo na ETAR de Cadafais, instalação representativa dos sistemas de pré-desnitrificação da Águas do Oeste. Os sistemas de agitação representam 10 a 15% do consumo total das instalações.

A seleção de agitadores parte, regra geral, de valores de referência de 5-15 W/m³ ou adoção de curvas de velocidade de fabricantes.

No último caso, a potência transmitida ao fluido é obtida por leis empíricas, pressupondo a ausência de sólidos, com reflexos na densidade e viscosidade, não tendo em conta o perfil específico do fluxo na aplicação concreta (Pedrosa & Fontes, IWA, AdO 2014).

Descrição do sistema de tratamento

A ETAR de Cadafais instalada com sistema de lamas ativadas (arejamento prolongado) serve uma população de 2467 habitantes equivalentes (Pedrosa & Fontes, AdO 2014). A linha de tratamento é composta por fase líquida com obra de entrada (tamisador vertical e desarenador do tipo pista), tanque anóxico, tanque de arejamento e decantador secundário e por fase sólida com espessador e filtro banda (móvel).

Procedimento experimental

Através da instalação de um variador de velocidade tornou-se possível controlar a velocidade do agitador e a potência de agitação do sistema para diversas potências distintas.

Ao abrigo de uma parceria com a ABB, foram desenvolvidos os seguintes trabalhos para alteração do regime de funcionamento da instalação:

- Instalação de variador eletrônico de velocidade;
- Recolha e registo de dados, com recurso a analisador de energia, e ensaios de campo e laboratoriais, com recurso a amostradores instalados em profundidade.

Os ensaios de campo consistiram em testes SV30 a diferentes profundidades (1, 2 e 3 m), em dois pontos do tanque anóxico e para potências de agitação variáveis.

Na figura 20 são visíveis com uma bola vermelha os pontos P1 e P2 onde foram efetuadas medições.



Figura 20- Apresentação de pontos de amostragem, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Dados experimentais

Na tabela 2 são apresentados os valores dos SV30 lidos para os diferentes pontos e profundidades às diferentes velocidades do agitador.

Tabela 2- valores dos SV30 lidos para os diferentes pontos e profundidades às diferentes velocidades do agitador

Hora	Frequência	Potência	P agitação	Pontos de Leitura SV30					
hh:mm	Hz	W	W/m ³	P1-3m	P1-2m	P1-1m	P2-3m	P2-2m	P2-1m
10:39	50	1800	6,90	190	200	190	190	190	180
11:00	47,5	1500	5,75	180	180	180	190	190	190
11:20	45	1300	4,98	190	190	190	200	200	190
11:40	42,5	1100	4,21	180	180	180	180	190	190
12:00	37,5	800	3,07	200	200	200	180	180	180
12:25	35	700	2,68	190	180	170	200	200	190
14:38	30	500	1,92	190	170	160	200	180	150

No gráfico abaixo é apresentado o comportamento do SV30 para as diferentes potências.

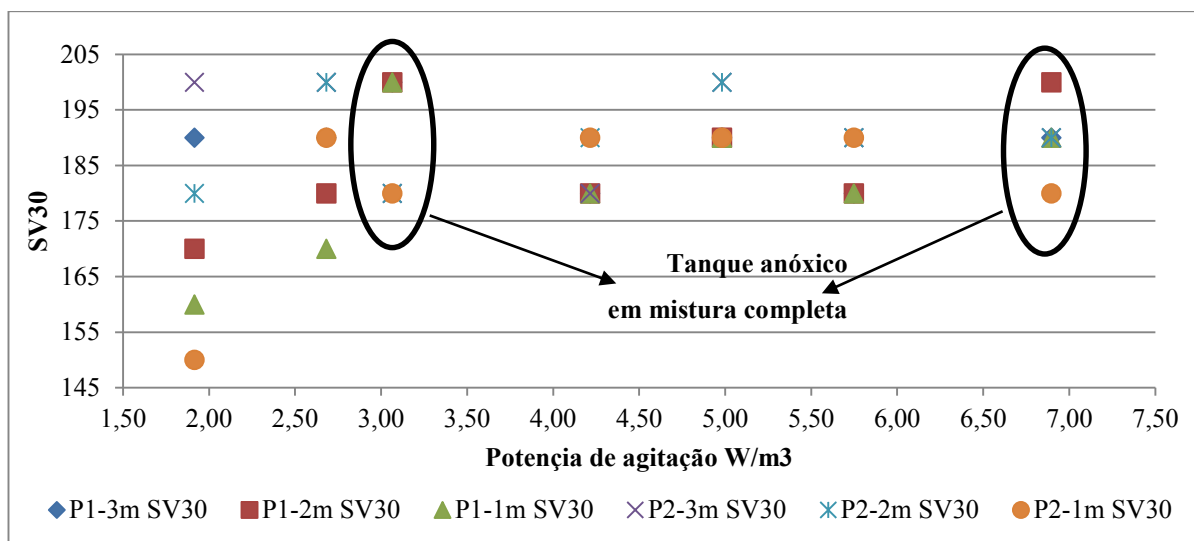


Figura 21-Comportamento SV30 para diversas potências, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Para uma variação de frequência entre 50 e 37,5 Hz é atingida uma redução de 55% na potência de agitação/consumo do agitador, como se pode verificar na figura abaixo.

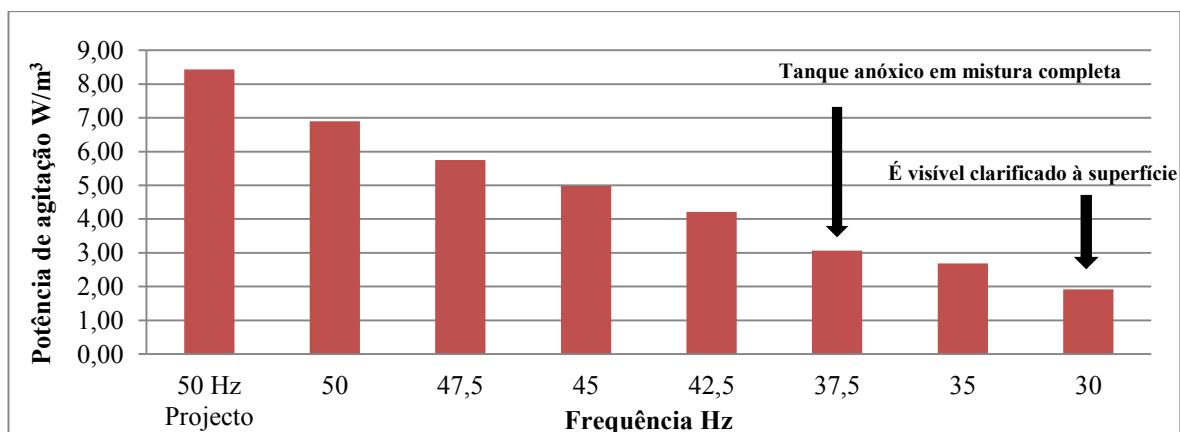


Figura 22-Potência de agitação para diversas frequências, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Conclusões

Da análise dos valores obtidos dos testes SV30 e da medição laboratorial do teor de SST, entre 50 e 37,5 Hz / 6,9 e 3 W/m³, verifica-se que os resultados são semelhantes, concluindo-se que o tanque anóxico se encontra com um nível de mistura adequada. Note-se que estas conclusões são válidas para as condições operacionais que se verificavam na

instalação no dia do ensaio, nomeadamente ao nível da concentração de SST no tratamento biológico.

A proposta de alteração a realizar passa pela aquisição do variador de velocidade que irá ajustar a potência de agitação e execução das instalações elétricas, integração e cablagens necessárias.

Outros benefícios e oportunidades adicionais preconizam-se na consequente redução do regime de funcionamento dos equipamentos, prolongamento do período útil de vida, aplicação direta a outras instalações, investimento com tempo de retorno reduzido, custos de manutenção reduzidos e melhoria do controlo de processo associado à agitação.

A colocação do agitador a 37,5 Hz representa uma poupança de 55,6% em relação ao consumo nas condições atuais e uma redução de quase 8% no consumo da instalação.

3.3.2 Alteração de princípios de funcionamento em sistemas de fornecimento e controlo de arejamento-Análise estatística de dados base

Para avaliar as necessidades e controlo de arejamento, potência, instrumentação e automação necessária, tendo como objetivo otimizar os processos de arejamento nas ETAR e melhorar, quando possível, o desempenho desta etapa de tratamento foi efetuado o tratamento estatístico de dados de CBO₅, caudal, condutividade e temperatura de diversas ETAR, procurando criar uma base de informação mais ajustada à realidade das condições de afluência.

Procedimento

O caudal e a CBO₅ têm influência direta nos requisitos de oxigénio, como se pode verificar na equação 1.1.

$$O_{req.CBO} = (CBO_{5IN} - CBO_{5OUT}) * Caudal \quad (1.1)$$

O Azoto total kjeldahl (TKN) e a taxa de nitrificação têm também influência direta nos requisitos de oxigénio, equação 1.2.

$$O_{req.TKN} = (TKN_{IN} - TKN_{OUT}) * Caudal * (4,57 \text{ gO}_2/\text{gTKN oxidado a nitrato}) \quad (1.2)$$

A OTR (*Oxygen Transfer Rate*) é assim a soma dos requisitos para CBO e TKN.

A temperatura e condutividade têm influência na OTR. A condutividade influencia ainda o parâmetro β (correção para diferenças de solubilidade do oxigénio entre a água residual e a água limpa, devido à presença de sais, partículas e de substâncias surfactantes). Como se pode verificar na equação 1.3 a FOTR que é a taxa de transferência de oxigénio nas condições reais, ou seja a taxa de transferência de oxigénio (OTR) corrigida com os parâmetros já referidos temperatura, β , e saturação do oxigénio à altitude e temperatura que se encontra a ETAR (CS,t) em relação às condições de água limpa a 20°C (Cs,20) e introduzindo o valor de oxigénio que se pretende no tanque neste caso 1 mg/l (Cw). O α é um valor de conversão entre a transferência em água limpa e em esgoto sendo no caso dos arejadores mecânicos usualmente 0,85 (Bolles, s.d.).

$$FOTR = OTR * \frac{\beta * C_{s,t} - C_w}{C_{s,20}} * \alpha * (\theta^{T-20}) \quad (1.3)$$

Neste caso de estudo quando é mencionado meses de “inverno”, refere-se concretamente aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e meses de “verão”, aos meses de julho, agosto e setembro. O estudo incide na análise destes cenários extremos em termos de CBO₅, caudal, condutividade e temperatura, procurando determinar os limites de operação dos sistemas de fornecimento e controlo de oxigénio.

Obtidos estes limites a estratégia passa por assegurar que os sistemas de arejamento têm a flexibilidade de acomodar, ao mais baixo custo, as variações horárias e sazonais das condições de afluência, sem perda significativa de resiliência a situações de contingência.

Os valores de CBO₅ abaixo de 50 mg/l e acima de 500 mg/l foram considerados materialmente não relevantes, tendo sido excluídos da análise estatística. Por outro lado, e de modo a testar a fiabilidade do parâmetro CBO₅, foram realizadas correlações dos dados de CBO com os de carência química de oxigénio (CQO).

Os dados considerados nesta análise de CBO₅ correspondem aos valores de 2007 até maio de 2014. Os caudais referem-se a dados de 2008 a 2013. A análise do parâmetro condutividade e temperatura teve por base dados de janeiro de 2012 a maio de 2014.

A avaliação de cargas foi determinada com base na média estatisticamente representativa de CBO₅ no afluente e um valor de caudal médio diário. Uma vez que o valor de caudal médio diário resulta da medição de volumes mensais tratados na ETAR e dada variabilidade dos caudais diários afluentes às ETAR no período de inverno, é prejudicada a representatividade do valor da carga calculada. Nas conclusões este aspeto é detalhado explicando o facto de algumas cargas de inverno serem “aparentemente” superiores às de verão.

Nesta análise é também apresentada a relação CBO₅/CQO associada à biodegradabilidade e tipificação do efluente. Em efluentes domésticos situa-se entre 0,4 - 0,6 (Metcalf & Eddy, 2003).

Resultados

Para cada ETAR foi efetuado um resumo como o apresentado abaixo correspondente à ETAR das Gaeiras:

A ETAR das Gaeiras serve 2549 habitantes equivalentes, com tratamento de lamas ativadas baixa carga (AdO, 2014). O tanque de arejamento tem um volume de 387,2 m³ equipado com uma turbina de 15 kW, tendo assim uma potência específica atual de 38,7 W/m³.

Na tabela 3 encontra-se a média de inverno e verão para o CBO₅, caudal, temperatura, condutividade e azoto total.

Tabela 3-CBO₅, caudal, carga, temperatura, condutividade azoto total na ETAR Gaeiras

	Inverno	Verão
CBO₅ (mg/l)	219,1	359,6
Caudal (m³/mês)	12534,5	5939,9
Carga (kg/dia)	91,5	71,2
Temperatura (°C)	14,1	23,8
Condutividade (µS/cm)	1334,0	2331,1
Azoto total (mg/l)	63,8	110,3

A correlação dos dados de CBO₅ e CQO é de 87%, a relação CBO₅/CQO é em média de 0,48.

No gráfico abaixo apresentado pode observar-se a diferença entre a média de verão e inverno, em percentagem, dos parâmetros CBO₅, caudal, carga (caudal multiplicado pela concentração de CBO₅), temperatura, condutividade e azoto total.

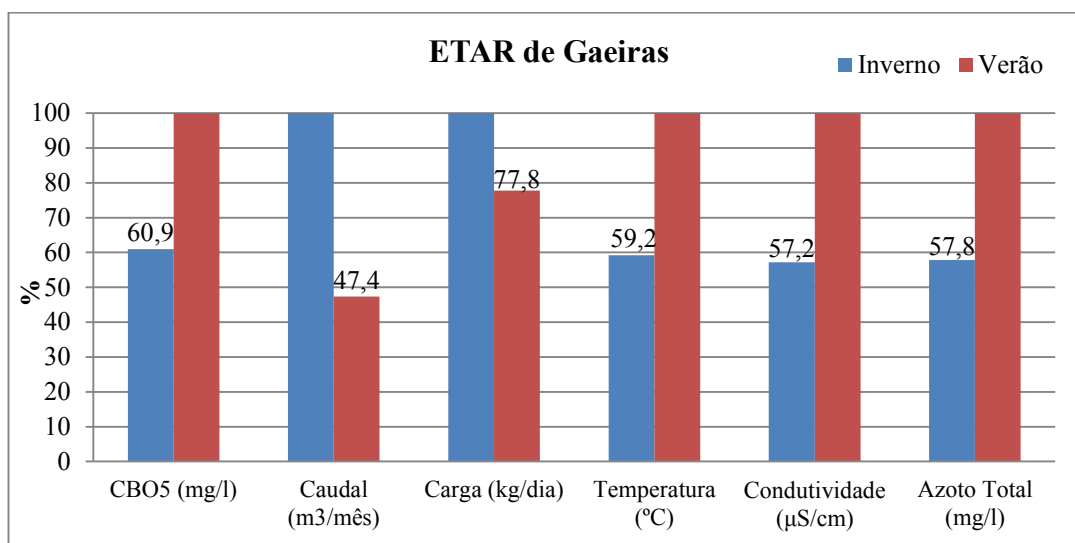


Figura 23- Gráfico CBO₅, Caudal, carga, temperatura, condutividade e azoto total da ETAR das Gaeiras

Esta ETAR no inverno tem uma CBO₅ aproximadamente 40% inferior aos meses de verão, para um dobro de caudal e uma carga apenas 22% inferior no verão. A ETAR de Gaeiras tem também controlo analítico de azoto total sendo a concentração em média de 42% superior nos meses verão.

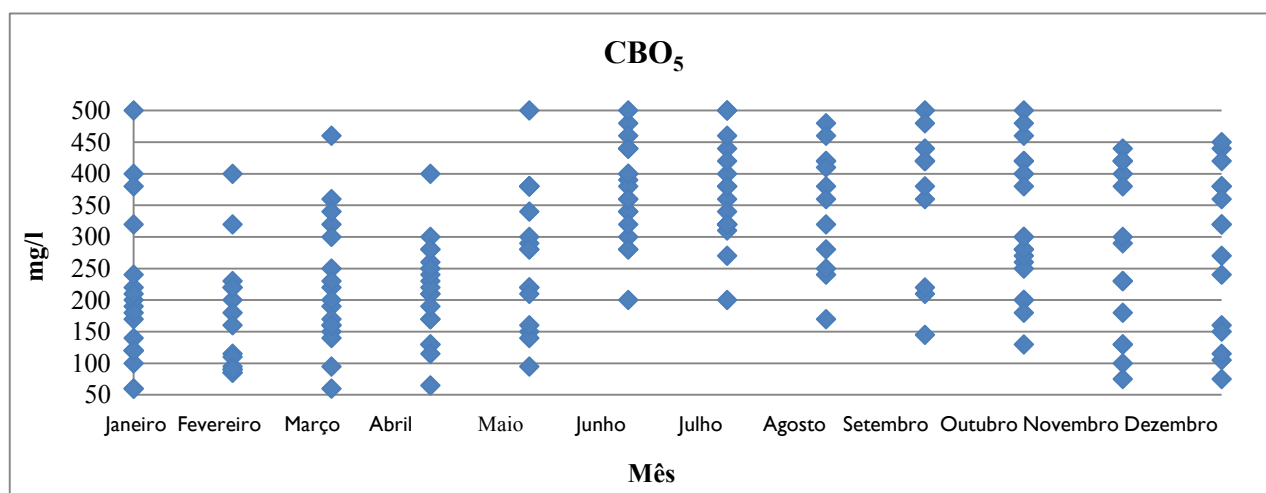


Figura 24- Distribuição de dados de CBO₅ de 2008 a 2014, excluindo dados materialmente não relevantes

Tabela 4- Matriz de correlação dos dados de CBO₅, CQO, SST, azoto total e temperatura em relação ao mês

	Mês	CBO ₅	CQO	SST	N total	T°C
Mês	1					
CBO ₅	0,210094	1				
CQO	0,139335	0,870485	1			
SST	0,141016	0,856205	0,838224	1		
N total	0,271024	0,618911	0,403398	0,424563	1	
T°C	0,362038	0,495804	0,512614	0,332101	0,532578	1

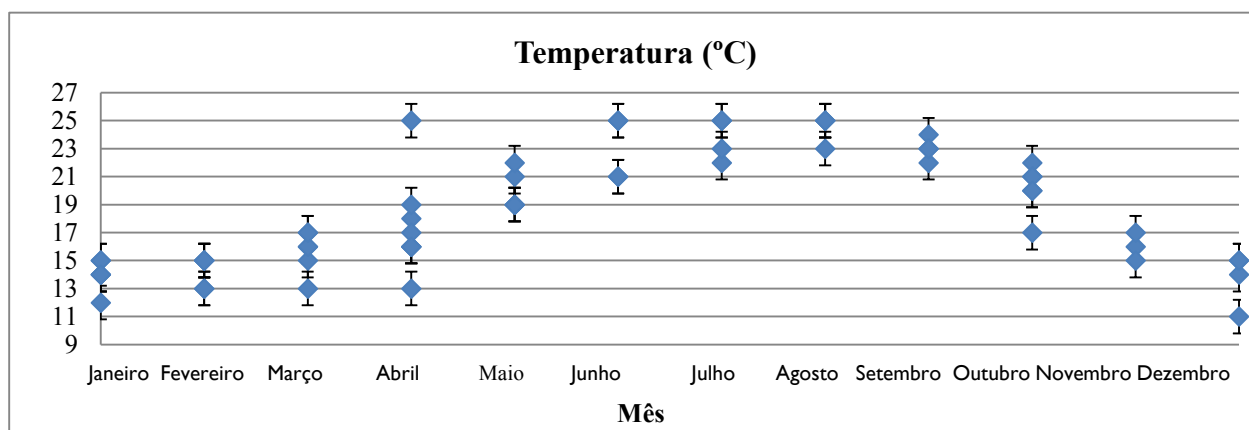


Figura 25- Distribuição de dados de temperatura, de 2012 a 2014, com respetivo desvio padrão

Estes dados foram assim introduzidos num modelo de cálculo de avaliação de necessidades de oxigénio, elaborado pela Águas do Oeste S.A. e validado pela Universidade de Aveiro (IDAD). O modelo apresentado na figura 26 pressupõe que sejam introduzidas os valores do sistema nas células a amarelo respeitante à ETAR em questão e o modelo fornece os valores assinalados a vermelho (valores do modelo).

Necessidades de oxigénio atuais da ETAR										
Etar	Gaeiras	Volume Tanque	m3	387,2						
Inverno										
CBO In	mg/l	219,1			β Saturação		0,995	Potência necessária Turbina	kw	3,311097
CBO out	mg/l	25			Temperatura	°C	14,1			
caudal	m3/ mês	12534,5			LabOTR	kgO2/kW.h	1,52			
TKn	kg/mês	40			α equipamento		0,85			
η nitrificação	%	25%			Concentração de O2 desejada no tanque	mg/l	1,0	Potência específica	w/m3	8,551388
O ₂ necessário	(kg/h)	3,76			FOTR	kgO2/kW.h	1,134401			
Verão										
CBO In	mg/l	359,6			β Saturação		0,992	Potência necessária Turbina	kw	3,940225
CBO out	mg/l	25			Temperatura	°C	23,8			
caudal	m3/ mês	5939,9			LabOTR	kgO2/kW.h	1,52			
TKn	kg/mês	40			α equipamento		0,85			
η nitrificação	%	75%			Concentração de O2 desejada no tanque	mg/l	1,0	Potência específica	w/m3	10,1762
O ₂ necessário	(kg/h)	4,67			FOTR	kgO2/kW.h	1,185148			

Figura 26-Modelo de cálculo de necessidades de oxigénio atuais da ETAR de Gaeiras

A potência necessária na turbina é dada pela equação 1.4:

$$Potência (kW) = \frac{OTR}{FOTR} \quad (1.4)$$

E a potência específica dada pela equação 1.5:

$$Potência\ específica \left(\frac{W}{m^3} \right) = \frac{Potência (W)}{Volume\ do\ tanque (m^3)} \quad (1.5)$$

No caso da ETAR das Gaeiras a turbina atual é de 15 kW ou seja uma potência específica de 38,7 W/m³ e conforme calculado 10 W/m³ dariam para satisfazer as necessidades atuais de oxigénio.

Conclusões

A análise estatística efetuada evidenciou características dos afluentes tratados nas ETAR durante os anos 2008 a 2014 com impacto significativo no funcionamento de sistema de arejamento. Aditam-se algumas orientações para o trabalho associado a eventuais alterações tecnológicas a empreender.

i) A análise de dados permitiu detetar alterações significativas nos diagramas de carga diários associados à afluência às ETAR, entre o período de inverno e verão. É no entanto uma matéria com alguma incerteza;

ii) Os valores de concentração de CBO na entrada das ETAR têm um padrão estatisticamente distinto no verão e inverno. A oscilação de concentração é da ordem dos 30%-60%.

iii) Os caudais na entrada das ETAR têm um padrão estatisticamente distinto no verão e inverno. A oscilação de caudal é da ordem dos 30%-90%.

iv) Em muitas ETAR a resultante de i) e ii) determina uma carga afluyente aproximadamente constante mas com pontas horárias distintas no inverno e verão de que resulta, como consequência, pontas horárias distintas nos dois períodos. A distribuição de concentrações, no inverno, tenderá para uniforme.

v) Os valores de condutividade e temperatura na entrada das ETAR têm um padrão estatisticamente distinto no verão e inverno. A oscilação de condutividade é da ordem dos 30%-70% e a da temperatura é da ordem dos 50%-70%. Tal releva na correção da OTR.

vi) Em algumas ETAR a carga afluyente, mesmo no verão, é significativamente inferior ao previsto em projeto.

vii) É provável que nos sistemas de arejamento prolongado, da conjugação das variáveis temperatura, CBO afluyente e fator de ponta horária se possa alcançar algum controlo da nitrificação no período de inverno. É provável que no período de verão se possa induzir desnitrificação com ganhos energéticos (recuperação de O₂), otimização de períodos tarifários e proteção de decantadores secundários. A dissociação da componente de agitação e arejamento deve assim ser focada no trabalho a desenvolver.

3.3.3 Projeto Watt

Este projeto visa otimizar a eficiência de sistemas de arejamento, agitação e gestão de tarifário em ETAR. Os sistemas de automação generalizados no país caracterizam-se por assegurar o fornecimento de oxigénio a caudal constante, de modo descontínuo. Quando atingida a concentração de 1-2 ppm o arejador para e, quando atinge o valor de 1-0,5 ppm arranca. Deste modo, ao longo do dia, o sistema vai arrancar e parar, fornecendo ar por ciclos *on-off*.

As desvantagens deste sistema residem no seguinte:

- Consumos e pico de corrente associado a cada arranque;
- Fornecimento de oxigénio, por defeito, acima do valor necessário;
- Desgaste do equipamento. Podendo funcionar em condições ajustadas à realidade estando atualmente a funcionar em regime mais exigentes.

O projeto também visa a otimização de sistema de agitação procurando a redução de potência de agitação pelo melhor conhecimento dos padrões mistura num ensaio à escala real.

Descrição do sistema de tratamento

O tipo de processo utilizado na ETAR das Gaeiras é o de lamas ativadas em regime de arejamento prolongado, servindo uma população equivalente, em 2013, de 2549 habitantes sendo 10% deste valor equivalente industrial.

Esta ETAR é composta por uma fase líquida com obra de entrada com grade mecânica (2 figura 27) e grade manual (3), reator biológico (4) composto por dois tanques de arejamento e um tanque anóxico, decantador secundário (5), leito de secagem (6) e por uma fase sólida com espessador de lamas (7) e filtro de banda (móvel).

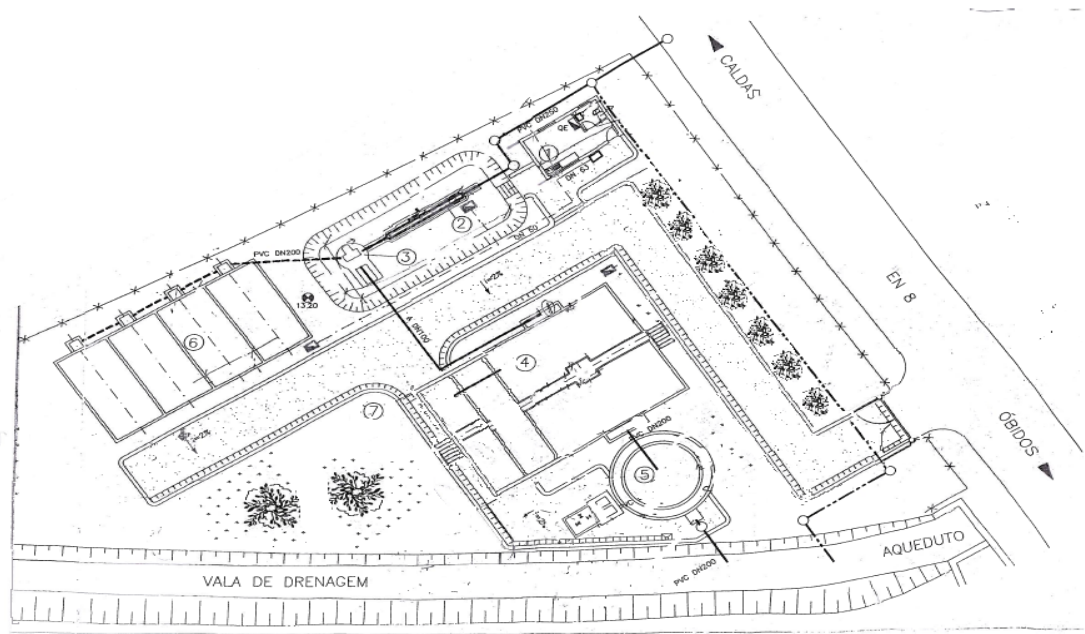


Figura 27- ETAR das Gaeiras, fonte (AdO, 2014)

Procedimento experimental

A otimização em estudo reside na instalação de um variador de velocidade que modele velocidade em arejadores superficiais (a transferência de oxigênio é proporcional à velocidade de rotação segundo uma reta).

Foi necessário definir e montar uma malha de amostragem tridimensional no tanque de arejamento, de modo a conseguir dados espaciais de condições de mistura para diferentes regimes de fornecimento de OD e potência de agitação. Esta malha foi baseada em (Ronzano & DAPena, 2010), os fluxos num tanque equipado com arejador de superfície são muito mais complexos que os fluxos por difusão de ar num tanque. Pode-se assim decompor os fluxos em duas componentes fluxo de rotação transversal, também chamado de fluxo de giración, e fluxo de rotação horizontal como se pode ver na figura 28.

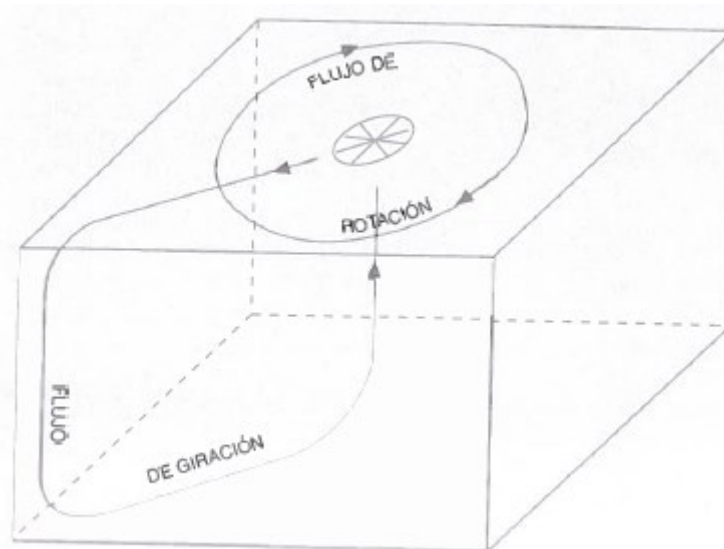


Figura 28- Principais fluxos num tanque com arejador de superfície, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)

O fluxo de rotação transversal é um fluxo num plano vertical radial similar ao produzido pela injeção de ar por difusores ao largo da parede do depósito. A velocidade no fundo do tanque varia de 1 a 2 m/s, junto à parede e junto ao centro é na ordem de 1,5 vezes a velocidade média no tanque. Na figura 29 pode ver-se os fluxos no fundo do tanque.

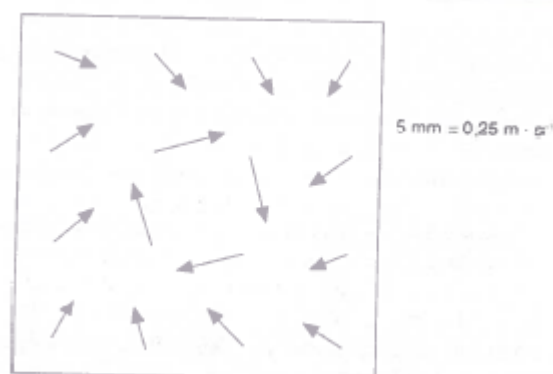


Figura 29- Fluxos no fundo do tanque, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)

A velocidade à superfície varia um pouco entre a saída do arejador e a chegada à parede, e é na ordem de duas vezes a velocidade média no tanque. Na figura 30 estão representadas linhas com o mesmo caudal de líquido. O nó de rotação transversal situa-se muito perto da parede, por essa razão as velocidades no fundo nesta zona são muito superiores ao que se podia supor apesar da sua distância ao centro ser máxima.

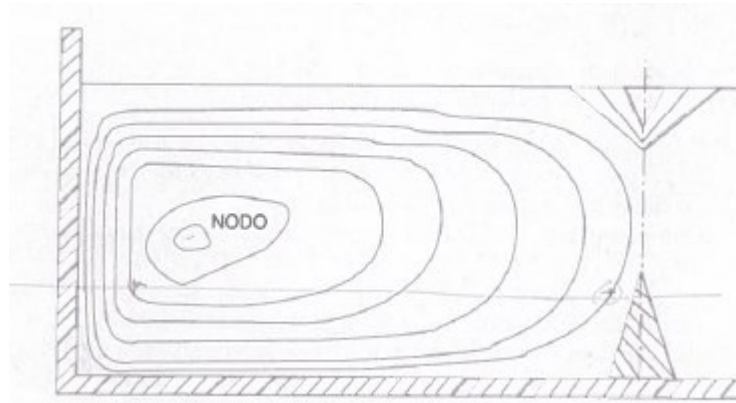


Figura 30- Curvas de iso-caudal, fonte (Ronzano & DAPena, 2010)

O fluxo de rotação horizontal, ou simplesmente fluxo de rotação, é o fluxo produzido num plano horizontal com o centro no eixo do arejador. Neste fluxo as velocidades da superfície ao fundo variam pouco e quando se para o arejador o fluxo continua por 10 a 15 minutos num tanque quadrado. Este fluxo tem uma grande inercia. O fluxo de rotação transversal, ao contrário do anterior quando se para o arejador desaparece em pouco tempo (2 a 3 minutos), o que indica que este fluxo tem pouca inércia e que a energia necessária para manter este fluxo representa uma fração importante da energia total. Baseado nestes pressupostos foi definida a seguinte configuração dos pontos de amostragem (figura 31).

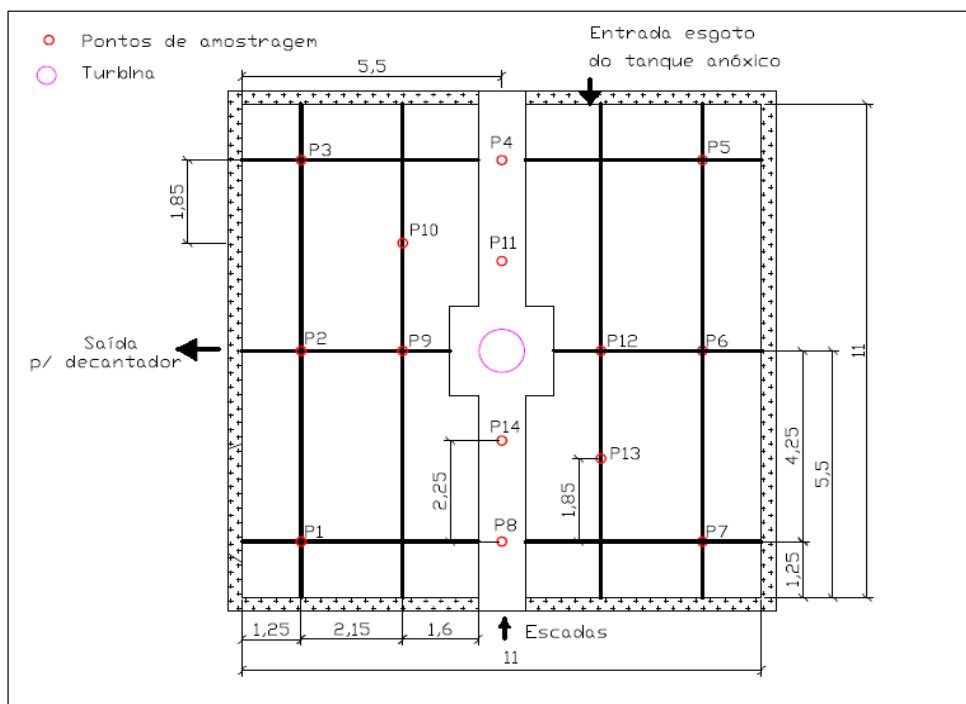


Figura 31-Distribuição pontos de amostragem no tanque

Foram considerados 14 pontos de amostragem, para a colocação de mangueiras de colheita de amostras a diferentes profundidades, figura 32.

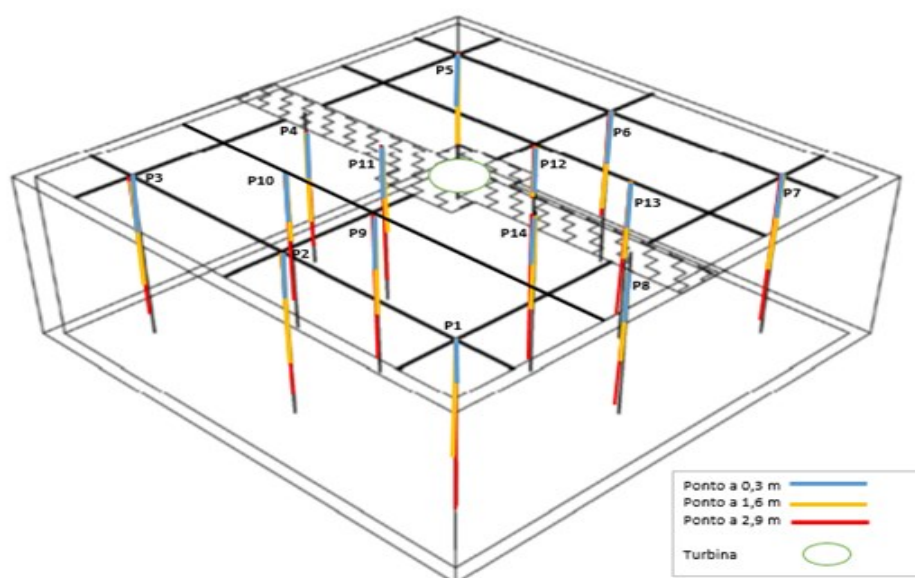


Figura 32- Tanque de arejamento em 3D, elaborado em AutoCAD

Para colocação deste esquema de amostragem o tanque de arejamento foi esvaziado e pelo perfil de areias depositadas no fundo foi possível verificar que o esquema de amostragem definido com base no livro de Ronzano & DaPena, 2012 cobre perfeitamente as áreas mais críticas sendo estas debaixo da turbina e na área circundante a esta. Os pontos P2, P9, P10, P11, P12, P13, P14 e P6 da figura 32 permitem assim ter uma visão da zona mais desfavorável e os restantes permitem-nos poder formar uma opinião acerca do comportamento junto às paredes que ainda é motivo de muita discórdia a nível mundial, havendo bibliografias que afirmam que são pontos desfavoráveis e outras que garantem que não são tão desfavoráveis como se pensa.

Na figura 33 pode observar-se o esquema de cabos montado.



Figura 33- Esquema de cabos montado no tanque

Em cada cabo preso ao fundo do tanque colocaram-se mangueiras a três profundidades diferentes 0,3 metros do fundo do tanque, meia altura e 0,3 metros abaixo do nível de líquido, como se pode observar na figura 34.



Figura 34- Mangueiras a diferentes profundidades

Todas as mangueiras estendem-se até ao passadiço onde são recolhidas as amostras, a distribuição dos pontos de amostragem no passadiço é visível na figura 35.

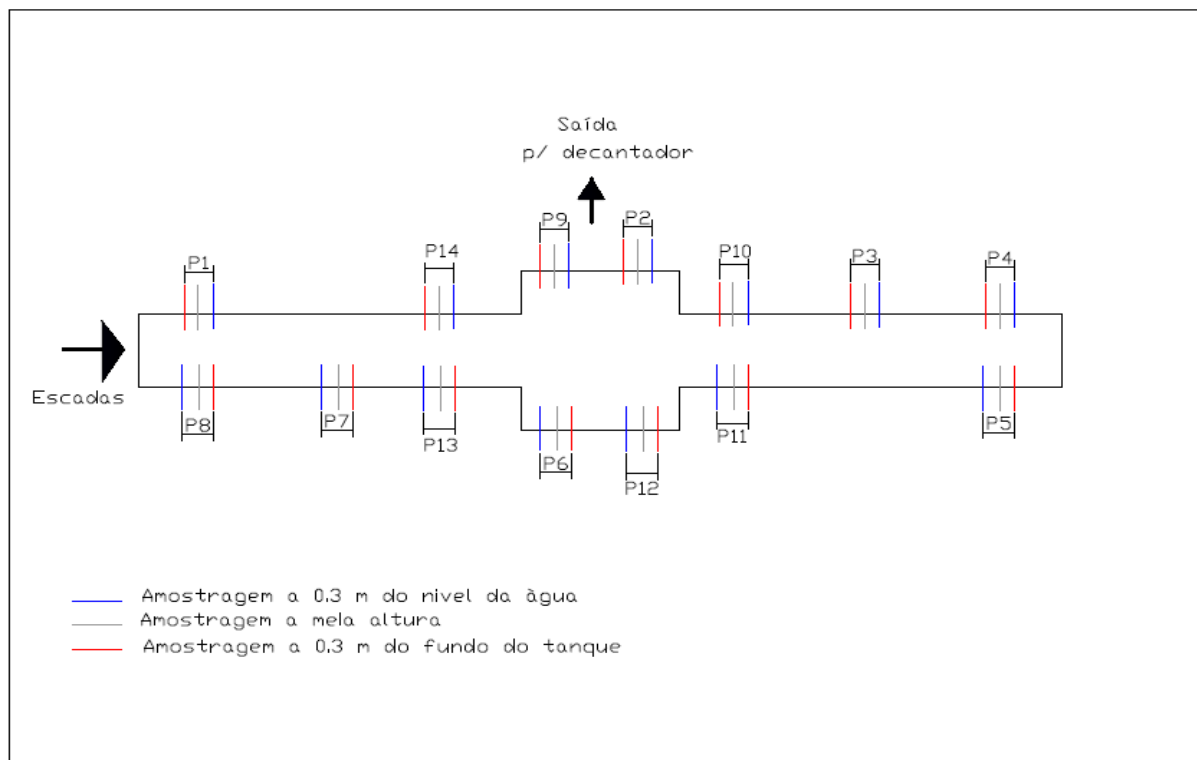


Figura 35- Distribuição mangueiras no passadiço

A designação de pontos de amostragem e as cores para as profundidades da figura (distribuição passadiço) será a utilizada nos dados recolhidos apresentados ao longo do relatório.

Foi ainda definida uma forma de recolha das amostras por vácuo para que a interferência nas amostras fosse a menor possível, figura 36.

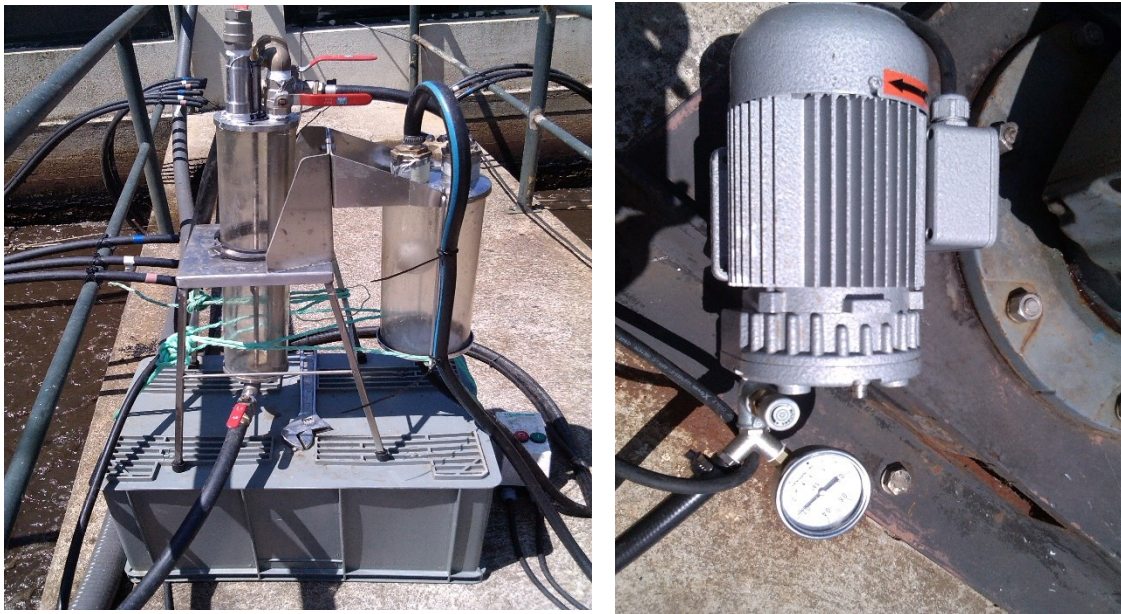


Figura 36- Recolhedor de amostras e bomba de vácuo

No ensaio realizado analisou-se o impacto da potência absorvida pela turbina na mistura do tanque e distribuição espacial de níveis de OD e sólidos no mesmo. Para este efeito foram utilizadas como variáveis de controlo SV30 e OD medidas com uma sonda portátil em cada amostra, como se pode visualizar na figura 37.



Figura 37-SV30 e Medição de OD com sonda portátil

Foram testados cinco patamares de potência 50, 45, 40, 35 e 30 Hz.

No final da tarde do dia anterior a cada ensaio a turbina é colocada na frequência com que serão realizados ensaios no dia seguinte, dando tempo para que os sólidos no tanque assumam um novo equilíbrio dinâmico. No dia seguinte, pela manhã, procedeu-se ao início do ensaio conforme abaixo.

Antes da recolha de amostras com a mangueira de ar comprimido sopra-se para dentro de todas as mangueiras, com o objetivo de empurrar tudo para dentro do tanque desentupindo as mangueiras.

Para recolha da amostra do tanque de arejamento foi utilizado o recolhedor de amostras apresentado na figura 36. A primeira amostra é rejeitada para garantir maior representatividade da amostra a analisar. É recolhida uma segunda, seguindo o mesmo procedimento.

Efetua-se teste SV30 e mediu-se OD nas amostras recolhidas em cada ponto de amostragem e na saída do tanque de arejamento (TA).

Em cada amostra retirada tomou-se nota da hora de recolha, foram efetuadas duas recolhas de todos os pontos duas vezes por dia uma de manhã por volta das 9 horas e outra da parte da tarde pelas 14 horas.

Ao longo do dia, de hora a hora, foi recolhida uma amostra de efluente bruto que foi composta, numa amostra única, para determinação no laboratório interno de CBO, CQO, SST.

Além desta recolha manual de amostras a Schneider disponibilizou um sistema de energia para se monitorizar os consumos da ETAR em tempo real.

Dados experimentais

Na figura 38 pode observar-se a distribuição de oxigénios à profundidade 0,3 metros para os diferentes patamares de frequências testados. Pode observar-se que a partir do patamar 40 Hz existe uma grande redução nos níveis de oxigénio no tanque que passa de valores superiores a 2 mg/l para valores inferiores a 2 chegando nos pontos 7,8 e 12, a valores de 0,5 mg/l e inferiores.

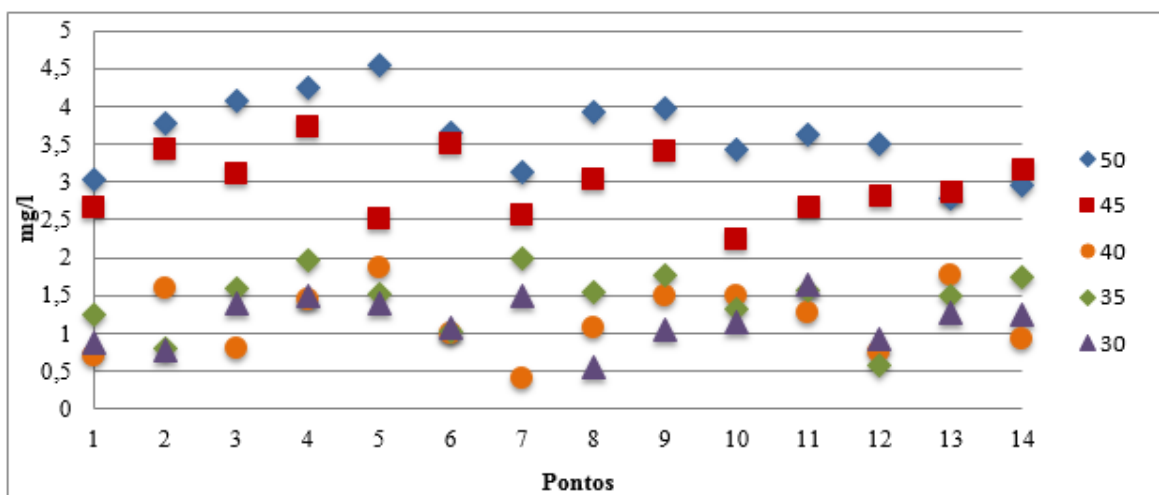


Figura 38-Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 0,3 metros a diferentes frequências

Na figura 39 pode observar-se a distribuição da quantidade de oxigénio no tanque, notando-se novamente uma diferença acentuada entre os patamares 50 e 45 Hz comparativamente com os restantes valores de frequência. A esta profundidade não se evidencia um padrão nos pontos.

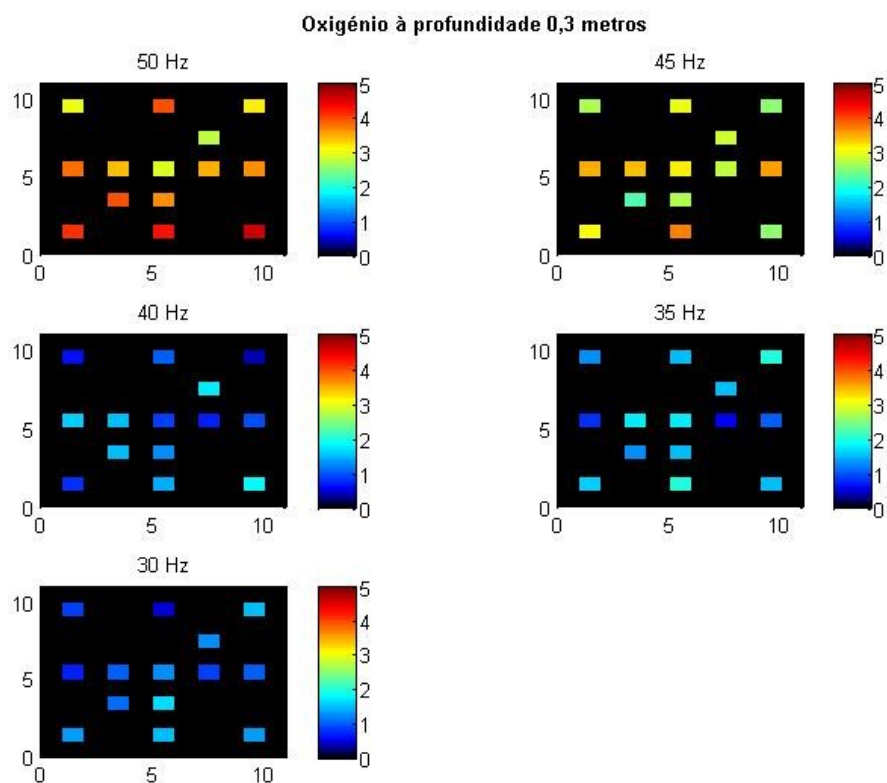


Figura 39- Distribuição de oxigénios no tanque a 0,3 metros

Na figura 40 pode observar-se a distribuição de oxigénios à profundidade 1,6 metros para os diferentes patamares de frequências testados. A esta profundidade não é tão clara a diferença entre os patamares 50 e 45 e os restantes, nota-se sim um decaimento no oxigénio quase gradual excetuando a 40 Hz que por razão incerta não têm o comportamento esperado.

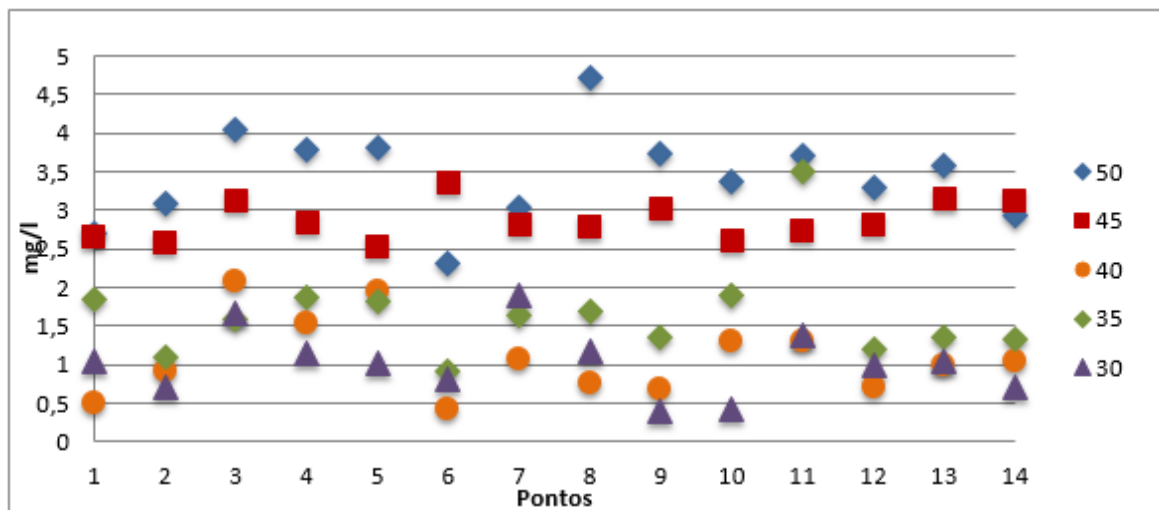


Figura 40- Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 1,6 metros a diferentes frequências

Na figura 41 pode observar-se a distribuição dos oxigénios no tanque, sendo difícil evidenciar-se um padrão dos pontos mais desfavoráveis no tanque.

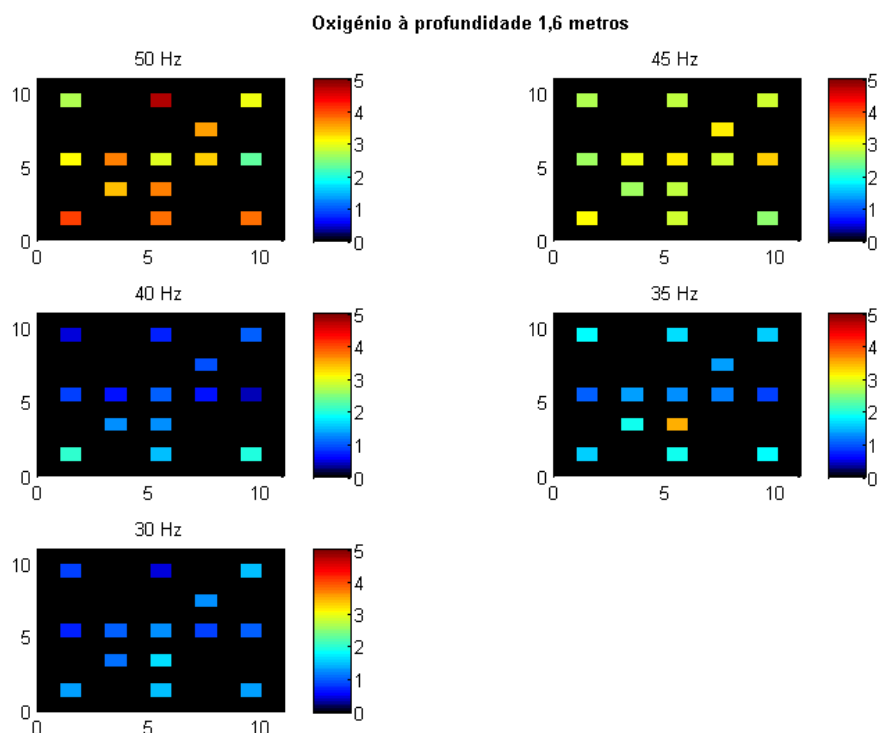


Figura 41- Distribuição de oxigénios no tanque a 1,6 metros

Na figura 42 pode observar-se a distribuição de oxigénios à profundidade 2,9 metros para os diferentes patamares de frequências testados. A esta profundidade é novamente mais clara a diferença entre os patamares 50 e 45 e os restantes. Novamente a 40 Hz por razão incerta o comportamento é diferente das restantes frequências.

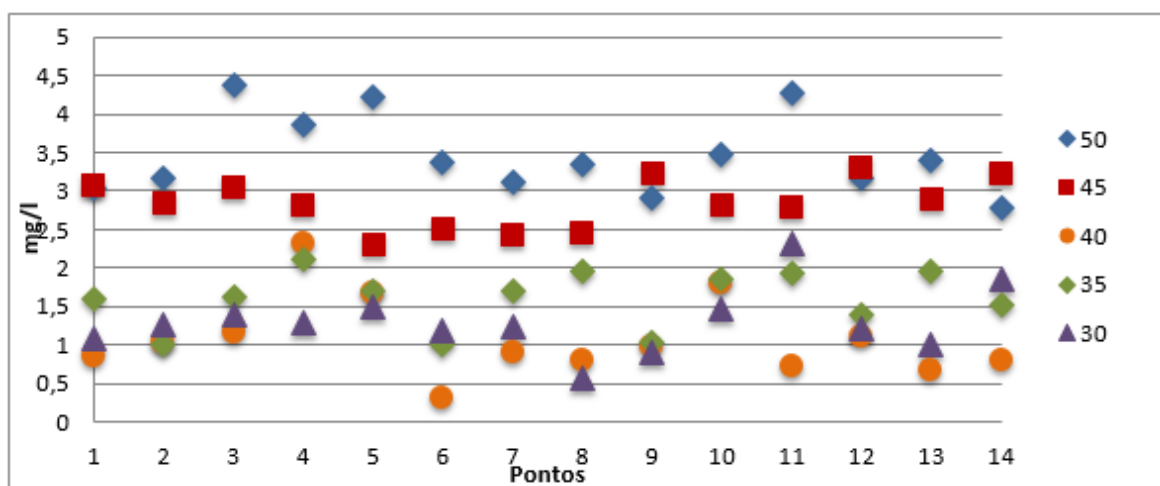


Figura 42- Oxigénios medidos nos pontos de profundidade 2,9 metros a diferentes frequências

Na figura 43 pode observar-se a distribuição dos oxigénios no tanque, sendo novamente difícil evidenciar-se um padrão dos pontos mais desfavoráveis no tanque.

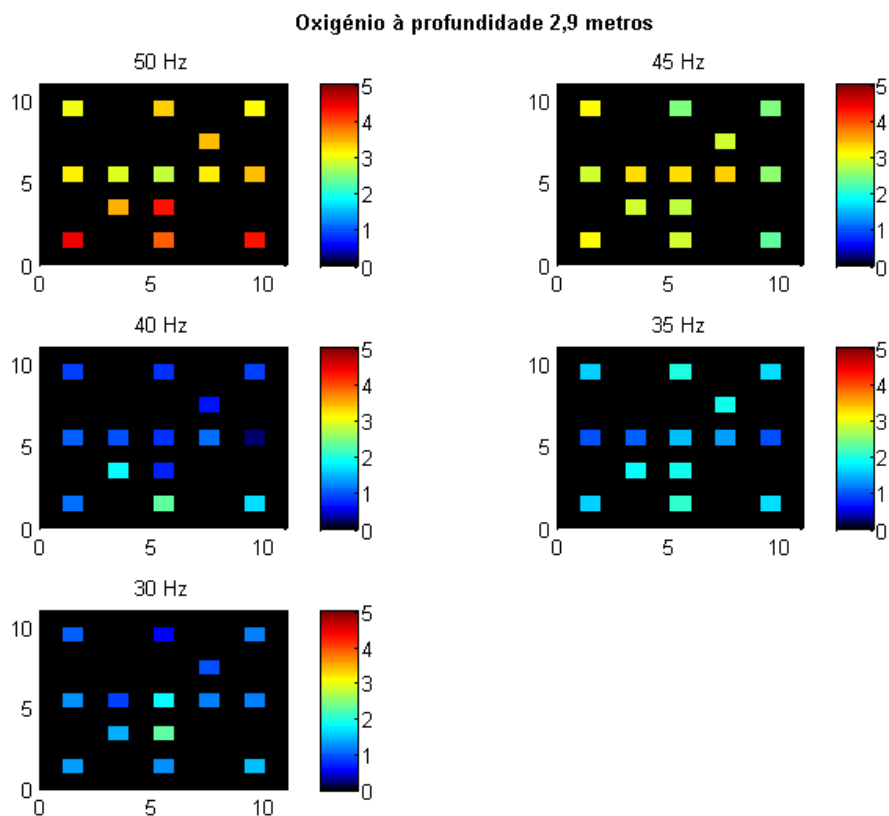


Figura 43- Distribuição de oxigénios no tanque a 2,9 metros

Nas figuras de comparação de oxigénios do anexo secção 3.3.3, pode evidenciar-se novamente que não existe um comportamento padrão nos vários pontos com o aumento da profundidade e frequência e ainda que não existe um padrão nos pontos junto às paredes do tanque, no passadiço e junto à turbina.

Nas figuras 44 a 46 pode observar-se que não se notou nenhum padrão nos testes de SV30 efetuados às várias frequências e profundidades podendo este fator ser indicativo que exista mistura mesmo a 30 Hz.

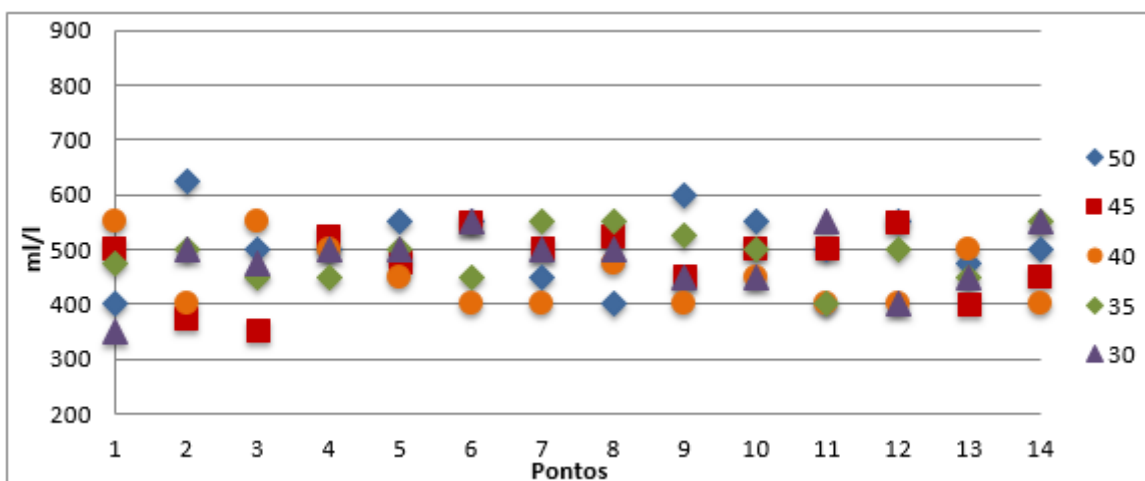


Figura 44-Comportamento SV30 à profundidade de 0,3 metros

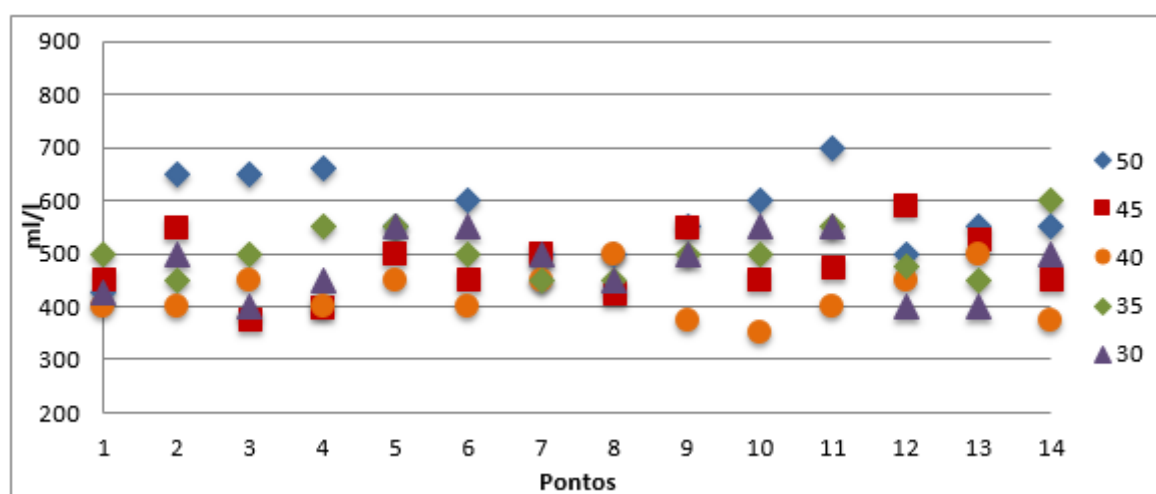


Figura 45-Comportamento SV30 à profundidade de 1,6 metros

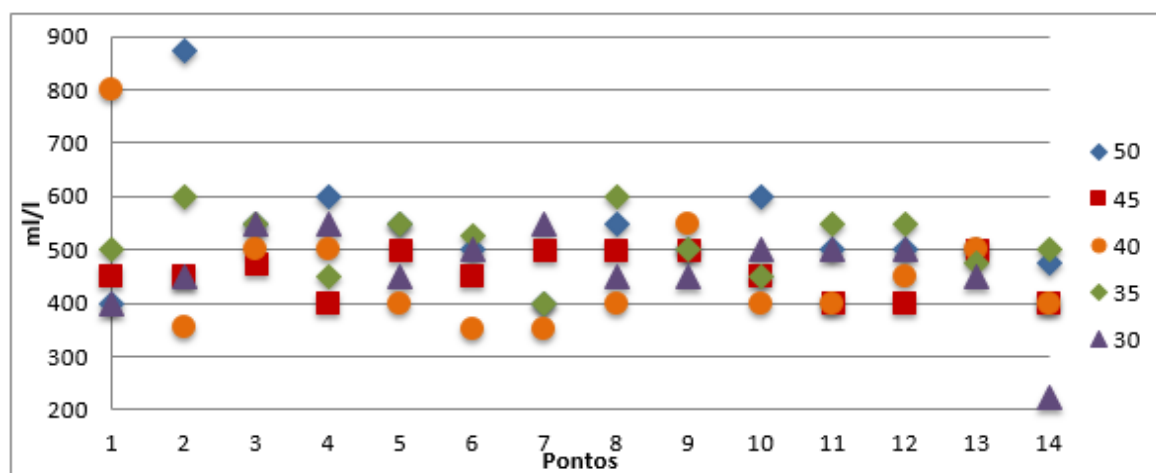


Figura 46-Comportamento SV30 à profundidade de 2,9 metros

A 30 Hz apesar dos testes de SV30 apresentarem resultados satisfatórios, o “efluente” não se encontrava clarificado, mas ainda turvo como se pode verificar na figura 47. Ao contrário do obtido nas outras frequências, figura 48.



Figura 47- Cones de sedimentação *Imhoff*, teste SV30 a frequência 30Hz



Figura 48- Cones de sedimentação *Imhoff*, teste SV30

Evidenciou-se assim que a 35 Hz o processo estaria estável e o efluente clarificado havendo assim uma possibilidade de redução dos consumos, em termos de potência específica de 40%, passando de 30 para 13 W/m³.

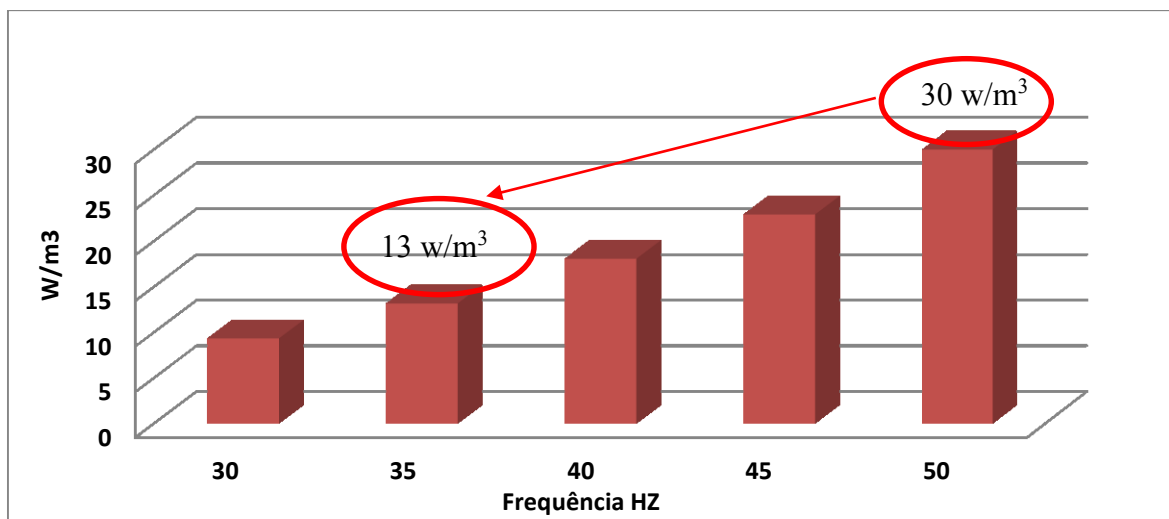


Figura 49-Potência específica a diferentes frequências

Conclusões

Do ensaio realizado conclui-se que a agitação pode não ser o fator limitante pois os testes evidenciaram mesmo a 30 Hz mistura suficiente sendo, provavelmente, o oxigénio dissolvido o fator limitante.

Devido às evidências detetadas visualmente no tanque a 30 Hz, conclui-se que o sistema poderá operar até 35 Hz, contribuindo assim com uma redução em termos de potência específica de 40%.

O próximo passo será o conhecimento do diagrama de cargas ao longo do dia e do impacto no oxigénio disponível no tanque, esta informação vai permitir tomar medidas em termos de gestão de tarifas nesta ETAR. Em todas as ETAR do sistema AdO foi também efetuado um levantamento das Sondas de oxigénio dissolvido e do seu estado de modo a se revitalizar e reforçar o controlo do oxigénio dissolvido. Pretende-se acompanhar o controlo de oxigénio nesta ETAR para permitir o controlo de oxigénio a partir do comando de sondas também colocando algumas restrições de tarifas podendo se tirar potencial da desnitrificação para recuperar algum oxigénio.

3.3.3 Otimização e Limpeza de sistema de arejamento por difusores – Estação Piloto: ETAR de São Martinho do Porto

A literatura e fornecedores referem a necessidade de limpar periodicamente o sistema de ar difuso.

A ETAR de São Martinho do Porto foi escolhida para a realização de um ensaio piloto que avaliasse o impacto desta prática.

O sistema de arejamento da ETAR é constituído por:

- 324 Difusores por linha (duas linhas);
- 2 Grelhas por linha, 162 difusores por grelha;
- Caudal máximo por difusor: 8 m³/h.

Qualquer redução de perda de carga poderá refletir-se numa redução significativa de potência do equipamento e consumo energético da instalação. O arejamento representa cerca de 20 % do consumo desta instalação (Pedrosa & Fontes, AdO 2014).

Descrição do sistema de tratamento

A infraestrutura é dotada de um sistema de fase líquida, sólida e desodorização. A fase líquida é composta por gradagem, tamizagem, desarenamento/desngorduramento, decantação primária, tratamento biológico através de um processo de lamas ativadas em baixa carga, que consiste em duas vales de oxidação, onde ocorre a degradação da matéria orgânica, decantação secundária onde ocorre sedimentação e consequentemente uma separação de fases, deste processo resultam lamas secundárias que são elevadas para a fase sólida sendo espessadas e desidratadas mecanicamente por centrifugação e posteriormente encaminhadas para destino final. A desinfecção do efluente desta ETAR é efetuada por radiação ultravioleta. O esquema da linha de tratamento encontra-se na figura abaixo.

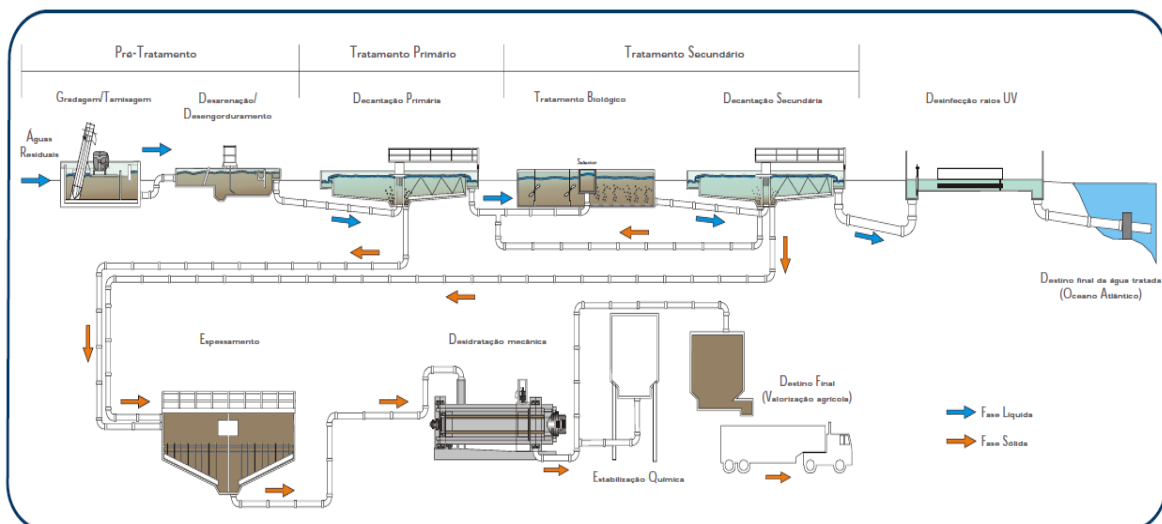


Figura 50- Esquema de linha de tratamento São Martinho do Porto, fonte (AdO, 2014)

Procedimento experimental

De forma a verificar a eficiência e importância da limpeza de difusores foi obtida a curva da instalação antes e depois de se efetuar a limpeza do sistema com ácido fórmico (figura 51). Foram recolhidos dados de potência, pressão e velocidade do ar no interior da conduta com recurso a analisador de energia, anemómetro, sensores de pressão e *datalogger*.

A curva da instalação foi possível pois esta ETAR têm um variador de velocidade instalado no sistema de arejamento.

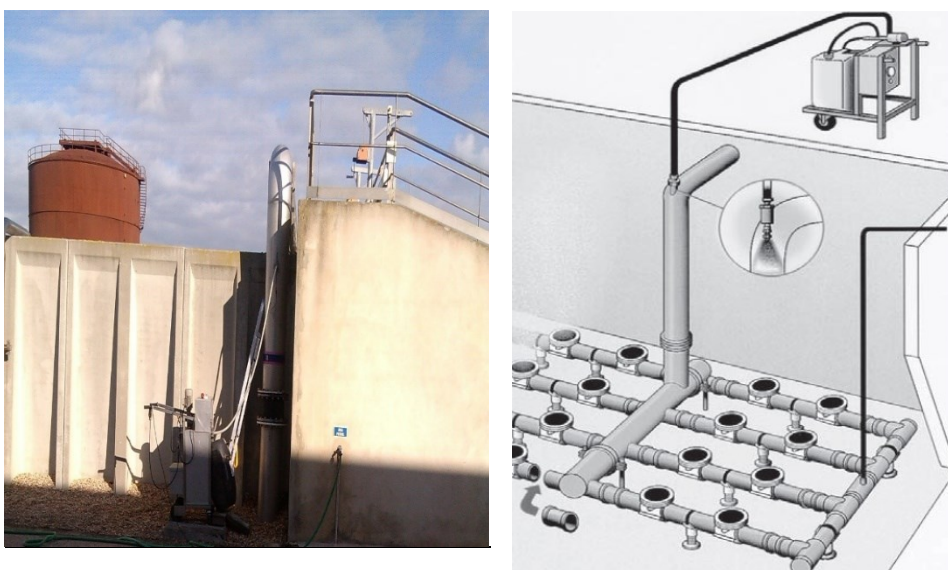


Figura 51- Limpeza difusores com ácido fórmico, fonte (ABS Nopon, 2014)

Dados experimentais

Dos dados recolhidos é possível observar uma clara redução de pressão após a limpeza, figura 52.

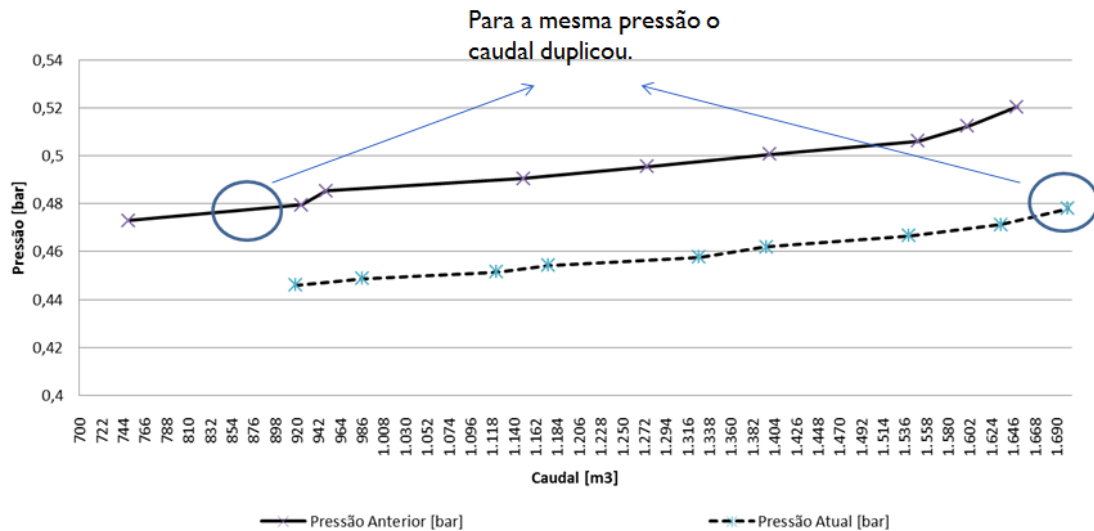


Figura 52- Curva da instalação - Estado Anterior e Atual, Caudal/Pressão, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

É também visível uma redução de potência absorvida pelo equipamento, figura 53.

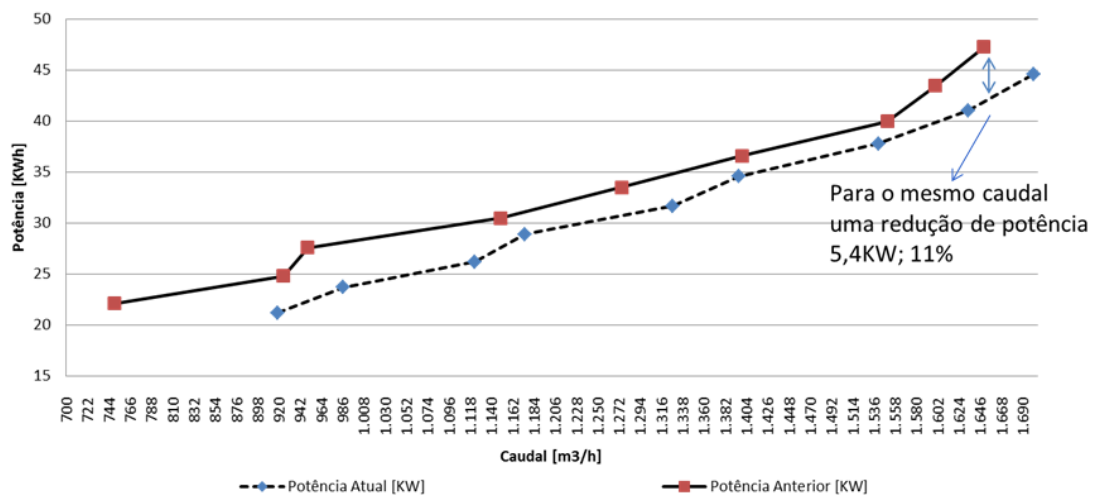


Figura 53- Curva da instalação - Estado Anterior e Atual, Caudal/Potência, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Na sequência da intervenção constata-se uma redução de 11% da potência absorvida pelo soprador e 2% do consumo total da instalação.

Conclusões

Deve ser uma prática regular a limpeza dos sistemas de arejamento por difusores. Os custos associados a limpeza são quase nulos.

A recolha de dados efetuada permite uma caracterização de referência da instalação, bloqueando pressões e caudais de referência, permitindo o acompanhamento da instalação e verificação de necessidade de nova limpeza através da monitorização da pressão do sistema.

A redução do regime de funcionamento dos equipamentos prolonga a sua vida útil.

A monitorização da pressão, caudal e potência deve ser uma prática regular permitindo detetar necessidades de limpeza.

Nesta instalação obteve-se uma redução de 11% da potência absorvida pelo soprador e 2% do consumo total da instalação.

3.3.4 Alteração de princípios de funcionamento de linhas de lamas ETAR Atouguia da Baleia

Com o objetivo de reduzir custos com o arejador e agitador do tanque de lamas mistas da ETAR responsáveis por 72% dos custos energéticos da linha de lamas, cerca de 19% do consumo energético da instalação, analisaram-se os riscos e oportunidades associados ao funcionamento em período de supervazio de uma sala de desidratação, sem assistência de operadores.

Para a possível passagem para períodos de supervazio foi analisada a fiabilidade do processo sem intervenção humana, e as falhas corrigidas para que esta opção se torne possível.

Descrição do sistema de tratamento

A linha de lamas desta ETAR é composta por espessamento gravítico, armazenamento em tanque de lamas mistas arejado e agitado, desidratação mecânica por centrífuga e armazenamento em silo para encaminhamento a destino final.

Atualmente na ETAR em estudo a desidratação é sempre acompanhada pela equipa de operação, ocorrendo em média uma vez por semana no horário das 8 horas e 30 minutos às 16 horas 30 minutos, correspondendo a um ciclo de aproximadamente 8 horas de desidratação. A centrífuga em causa é do tipo Andritz Guinard D4LL HP 30.

O agitador responsável pela homogeneização do tanque de lamas mistas funciona 24 horas por dia consumindo cerca de 2,2 kW por hora. O arejador funciona também 24 horas por dia, tendo como função arejamento e homogeneização do tanque de lamas mistas e consumindo cerca de 3,7 kW por hora, o que se traduz em 8% do consumo energético da instalação.

Procedimento experimental

Antes do início do ensaio, para garantir a homogeneidade no tanque de lamas que alimenta a centrífuga, é impedida a entrada de lamas no mesmo.

As variáveis registadas para acompanhamento do ensaio (início, desenvolvimento e fim) foram: consumo energético dos vários equipamentos da etapa (analísadores/contadores de energia), totalizadores das várias tarifas horárias de energia da instalação, totalizador de água potável da rede, caudal e volume de lama espessada, de água para preparação de polímero, de solução de polímero, de escorrências, de água de lavagem, e níveis do tanque de lamas e silo.

Regista-se também com alguma regularidade os parâmetros de funcionamento da centrífuga e de bomba de elevação para o silo, assim como a quantidade utilizada de polímero.

Para a análise da fiabilidade processual da desidratação foram recolhidas amostras, com uma periodicidade horária, desde o início do ensaio, de lama espessada, lama desidratada e escorrências. Nas amostras de lama desidratada foi medida a percentagem de matéria seca (%MS) e nas restantes amostras referidas os sólidos suspensos totais (SST).

No final de cada dois dias de desidratação o silo de lamas é despejado, ocorrendo a pesagem das lamas desidratadas e a recolha de uma amostra composta dessa lama para verificar concordância com valores de %MS medidos anteriormente.

Dados experimentais

Foram efetuados dois ensaios, cada um com dois dias de desidratação, com condições fixas de alimentação de lamas e de concentração de polímero. A alimentação de lamas foi de 9,5 m³/h e a concentração de polímero de 4,6 g/l.

Os dias de desidratação tiveram lugar com ciclos de desidratação entre 6 e 8 horas, tendo sido obtidas um total de 38 amostras de lama desidratada e 35 amostras de lama espessada e escorrências.

Foi assim estabelecido, com recurso a medição, o balanço hidráulico, mássico e energético da etapa de desidratação.

Como valores relevantes dos ensaios realizados podem ser indicados os seguintes:

Tabela 5-Indicadores relevantes obtidos no ensaio

Descrição	Unidade	Ensaio 1	Ensaio 2
Sicidade	%MS	22,35±0,983	21,55±1,025
Captura de Sólidos	%	99,06±1,145	98,63±0,685
Polímero adicionado por tonelada de MS	Kg/ Ton MS	8,49	9,77
Quantidade de MS por tonelada de lama desidratada	Ton MS/ Ton	0,23	0,24
Consumo de água da rede por tonelada de lama desidratada	m ³ / Ton	0,43	0,45
Consumo de energia elétrica por tonelada de lama desidratada	kW/Ton	24,29	24,86
Custo de polímero por tonelada de lama desidratada	€/Ton	6,49	7,61
Custo de água da rede por tonelada de lama desidratada	€/Ton	1,28	1,36
Custo de energia elétrica por tonelada de lama desidratada	€/Ton	2,29	2,38

Custo total por tonelada de lama desidratada	€/Ton	42,67	43,96
--	-------	-------	-------

Através dos dados adquiridos foi possível efetuar um estudo, baseado no regime de funcionamento atual, de possíveis regimes de funcionamento futuros e alterações de processo com impacto no consumo energético dos equipamentos, que poderão passar pelas seguintes alternativas, e/ou outras a definir no decurso dos ensaios a realizar:

- Alteração da filosofia de controlo do tanque de lamas;
- Redução do volume do tanque de lamas;
- Alteração do tempo de funcionamento do arejador e agitador do tanque de lamas, passando de um regime de funcionamento contínuo para funcionamento em dias de desidratação. O arejador e agitador do tanque de lamas mistas apenas entram em funcionamento nas fases de enchimento do tanque e fase de desidratação;
- Alteração do controlo da purga de lamas para temporizado em período horário editável;
- Redução de potência ou eliminação de equipamentos, arejador e agitador;
- Desidratação na ausência de intervenção humana, disponibilizando recursos humanos para outras tarefas;
- Deslocação dos períodos de desidratação para períodos noturnos.

Em 2013, o arejador representava cerca de 45% dos custos energéticos da linha de lamas e o agitador 31% (figura 54).

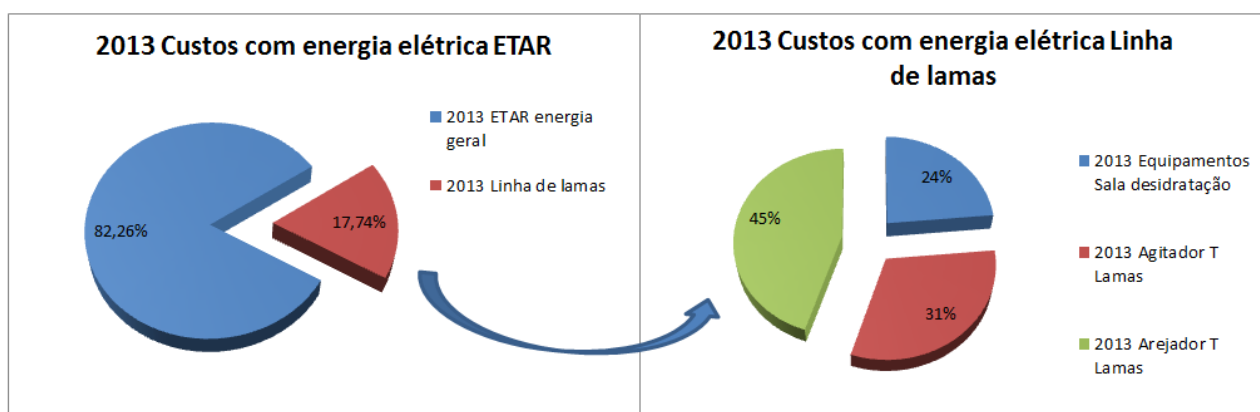


Figura 54- Custos energéticos da instalação e linha de lamas em 2013, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Na figura 55 pode observar-se a expectativa de custos futuros da instalação e linha de lamas, após alteração do processo e da filosofia de controlo, num cenário para 6 horas de desidratação/dia, ou seja 600 horas ano, início de desidratação à uma da manhã considerando que o arejador e o agitador só funcionam nos dias de desidratação durante a fase de enchimento e a fase de desidratação.

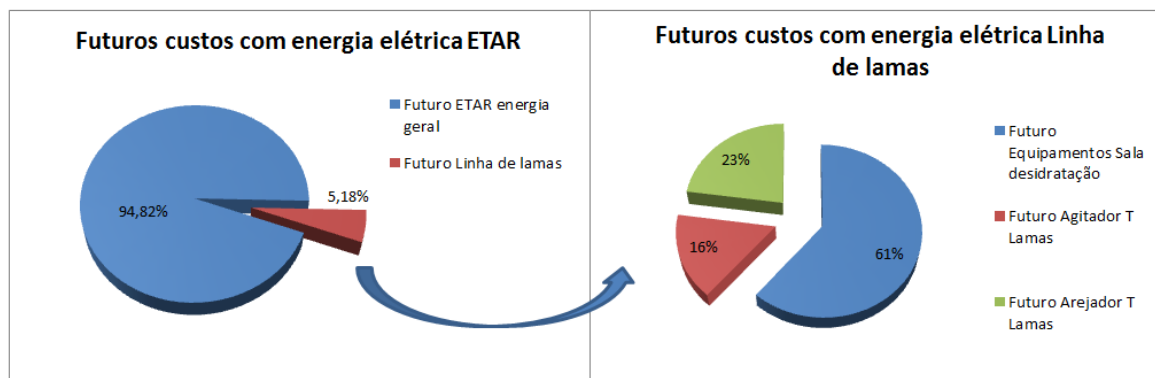


Figura 55- Custos energéticos da instalação e linha de lamas, expectativa de custos futuros, fonte (Pedrosa & Fontes, AdO 2014)

Com esta alteração obtêm-se uma redução dos custos energéticos da linha de lamas aproximadamente de 18% para apenas 5%.

Os resultados do balanço hidráulico, mássico e energético da desidratação e custos inerentes ao processo estão apresentados no anexo secção 3.3.4-ETAR Atouguia da Baleia, onde se analisa:

- Evolução das amostras de lama desidratada (%MS), espessada (SST em kg/m³) e escorrências (SST em kg/m³) durante os quatro dias de desidratação;
- Distribuição dos consumos de energia pelos vários consumidores, a evolução no tempo, assim como a evolução dos rácios kWh/Ton desidratada, o rácio m³ água da rede/Ton desidratada e kg polímero/Ton desidratada;
- A evolução de vários rácios de custos por tonelada de lama desidratada (polímero, energia e água);
- Segregação de consumos totais da ETAR e o “peso” de linha de lamas na instalação, expectativa de custos futuros para desidratação na ausência de intervenção humana em período de tarifário mais favorável.

Conclusões

Nos quatro dias de desidratação verificou-se que a sicidade depende muito da lama espessada mas, ao longo do dia de desidratação esta mantém-se muito constante, tal como a eficiência de remoção de sólidos e o regime de funcionamento dos equipamentos. Este facto demonstra que o processo desta instalação tem uma elevada fiabilidade com desvios diários de apenas 1% (Ver anexo secção 3.3.4 gráfico Evolução amostras de lama desidratada, espessada e escorrências).

Dos ensaios realizados constatou-se que a percepção existente de alguns dos consumidores envolvidos no processo estava distorcida da realidade. Como por exemplo, o custo do consumo de água ser semelhante ao do consumo de energia da centrífuga, ou o custo do consumo de polímero ser três vezes superior ao custo total de consumo de energia. No caso de os equipamentos também ser verificou alguma distorção entre a percepção e a realidade, o parafuso transportador e o *bridge-braker* apresentam um consumo semelhante à bomba de elevação para o silo.

Através dos ensaios realizados foi também possível verificar que a linha de tratamento de lamas é responsável por 18,9% do consumo de energia elétrica da instalação, que se traduz num custo anual de 10800€. Este valor pode ser reduzido até 72%, consoante as alterações impostas, a desidratação na ausência de intervenção humana em período horário mais favorável representará no máximo um corte de 10% mas, num cenário de alteração de processo na linha de lamas o potencial de poupança aumenta.

3.4 Indicadores de performance de sistemas com *benchmarking interno*

Foram efetuadas picagens em todos os sistemas de arejamento por sobrepressores tanto de arejamento a reator biológico como a desarenadores para colocação de manómetros indicadores de pressão onde será colocado um autocolante de referência para a pressão a que estes se devem encontrar aquando do funcionamento correto, será também colocado um cartaz junto ao manómetro de modo a alertar os operadores para verificação da pressão. Estes manómetros nos sistemas de reator biológico com arejamento por difusores serviram também como indicadores de performance, no sentido de, atingindo uma determinada pressão o sistema estará a necessitar de uma limpeza dos difusores com ácido fórmico.

Esta área está em desenvolvimento para trabalho futuro.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4. Conclusões e perspetivas futuras

No âmbito da poupança energética em sistemas de arejamento e agitação existe um longo caminho a percorrer que passa não só pela implementação de medidas e substituição e modificação de equipamentos como, principalmente pela mudança de perceções da realidade, envolvimento e sensibilização dos que diariamente lidam com estes sistemas.

No projeto realizado no tanque anóxico da ETAR de Cadafais obteve-se uma poupança de 55,6% em relação ao consumo nas condições atuais e uma redução de quase 8% no consumo da instalação apenas baixando a frequência do agitador de 50 Hz para 37,5 Hz sem comprometer a mistura completa, mostrando assim que existe muito espaço para poupança nos tanques anóxicos de outras ETAR da concessão.

Da análise estatística dos dados de base das ETAR pode-se concluir principalmente que em algumas ETAR a carga afluyente, mesmo no verão, é significativamente inferior ao previsto em projeto, o que leva a uma forte margem de poupança no arejamento nestas ETAR.

No projeto na ETAR das Gaeiras, conclui-se que no máximo poder-se-á baixar até 35 Hz evidenciando assim uma possibilidade de redução em termos de potência específica de 40%. O próximo passo será o conhecimento do diagrama de cargas ao longo do dia e do impacto no oxigénio do tanque, esta informação vai permitir tomar medidas em termos de gestão de tarifas nesta ETAR. Em todas as ETAR foi também efetuado um levantamento das Sondas de oxigénio dissolvido e do seu estado de modo a se revitalizar e reforçar o controlo do oxigénio dissolvido. Pretende-se acompanhar o controlo de oxigénio nesta ETAR de modo que venha a permitir o controlo de oxigénio a partir do comando de sondas e também colocando algumas restrições de tarifas podendo se tirar potencial da desnitrificação para recuperar algum oxigénio.

Através da limpeza dos difusores de São Martinho do Porte obteve-se uma redução de 11% da potência absorvida pelo soprador e 2% do consumo total da instalação. Pode ainda concluir-se que a limpeza dos sistemas de arejamento por difusores deve ser uma prática regular e que os custos da limpeza são quase nulos.

Na linha de lamas da Atouguia da Baleia conclui-se que o processo desta instalação tem uma elevada fiabilidade com desvios diários de apenas 1%, e que a linha de tratamento de lamas é responsável por 18,9% do consumo de energia elétrica da instalação este consumo com alteração do arejador e o agitador passarem a funcionar só nos dias de desidratação durante a fase de enchimento e a fase de desidratação poderá vir a representar uma redução de 30 %.

Bibliografia

- TPO™ *Treatment Plant Operator*. (10 de 2013). " *Mixing things up*". Obtido de tpomag: http://www.tpomag.com/editorial/2012/09/mixing_things_up
- ABS. (19 de agosto de 2014). "*General Rules-Mixers instalation and positioning in wastewater treatment plants*". Obtido de absgroup: www.absgroup.com
- ABS Nopon. (2014). "*ABS Nopon disc diffuser system PIK 300*". Obtido de http://www.sulzer.com/ms/-/media/Documents/ProductsAndServices/Pumps_and_Systems/Aeration_Systems/ProductInformation/ABS_Nopon_Disc_Diffuser_System/PIK_300_TDS.pdf
- AdO. (2014). Águas do Oeste. Obtido de Águas do Oeste: <http://www.aguasdooeste.pt/>
- Barroso, A. (2012). "ETAR de lamas ativadas através do estudo das comunidades microbiológicas do licor misto". Porto: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Bolles, S. (s.d.). "*Modeling Wastewater Aeration Systems to Discover Energy Savings Opportunities*". Obtido de Process Energy, LLC: <http://www.processenergy.com/Aeration%20Paper.pdf>
- CEMAGREF. (s.d.). "*Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture*". Obtido de irstea: <http://www.irstea.fr/accueil>
- Cotrim, D. L. (2013). "Otimização das condições de arejamento do tratamento biológico da ETAR da Ericeira. Liaboa": Universidade Nova de Lisboa.
- Daw et all. (janeiro,2012). "*Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities*". Colorado: NREL.
- ECKENFELDER, W. G. (1992). "*Activated Sludge Process Design and Control Theory and. Water Quality Management*" Library Volume 1.

- EMC Engineers. (2007). *"Mechanical and Electrical Needs Assessment"*, PROJECT. pp. EMC No. 1C10701-000, 84p.
- EPA. (setembro de 2010). *"Evaluation of Energy Conservation Measures for Wastewater Treatment Facilities"*. Obtido de [water.epa.gov: http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/Evaluation-of-Energy-Conservation-Measures-for-Wastewater-Treatment-Facilities.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/Evaluation-of-Energy-Conservation-Measures-for-Wastewater-Treatment-Facilities.pdf)
- GRAY, N. (1999). *"Water Technology An Introduction for Scientists and Engeneering"*. College, Arnold.
- GWATER. (2014). G-Water - Tecnologias da Água, Lda. "Conhecimento passado pessoalmente em reunião na sede AdO". Obtido de G-Water - Tecnologias da Água, Lda.
- Jenkins et all. (May/June de 2008). *World Water and Environmental Engineering*. "Optimizing aeration energy in wastewater treatmen"t, pp. 25-27 volume 31 issue 3.
- Luizi , R. P. (2012). "Operação de Sistemas de Tratamento de Águas Residuais por Lamas Ativadas com Arejamento Prolongado" . Lisboa: Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa.
- Metcalf & Eddy. (2003). *"Wastewater Engineering Treatment & Reuse"* . MCGRAW HILL.
- Middleton et all. (IWA 2011). *Water Practice & Technology*. "Energy efficiency in water industry", a Global Research Project, p. vol 6 No 2.
- Mooers Products. (2010-2012). *"Aeration Systems"*. Obtido de [coarsebubblediffuser: http://www.coarsebubblediffuser.com/aeration-systems.html](http://www.coarsebubblediffuser.com/aeration-systems.html)
- Olsson, G. (2011). *"Water and Energy Nexus"*. Lund University, Sweden : Springer Verlag.
- OMEL. (2012). *OMEL*. Obtido de "SRT-sopradore trilobados de deslocamento positivo": http://www.omel.com.br/cms/wp-content/uploads/2012/01/Catalogo_soprador_trilobular_SRT.pdf
- P.E., W. M. (2012). *"O&M Energy Efficiency Checklist for Wastewater Treatment Plants"*. Portland, Oregon: O&M.

Pedrosa, M., & Fontes, P. (AdO 2014).

Pedrosa, M., & Fontes, P. (AdO 2014). IWA. "*Energy efficiency in water supply system and wastewater treatment plants*".

Ronzano, E., & DAPena, J. L. (2010). *Tratamiento biologico de las aguas residuales*. Espanha: Diaz dos Santos- Pridesa grupo Iberdrola.

Sardinha, J. (2011). "Sistemas de arejamento". Obtido de Equipamentos Eletromecânicos e automação.

Severn Trent Services. (2004). "*Advantages of dissolved oxygen control in wastewater*".
Obtido de http://piphatchol.com/Catalog/!Instrumentation_Products_Documentation/!Documentation/Documentation_Breakdown/4000-Applications/223-4002.pdf

SPERLING, M. (2007). "*Biological Wastewater Treatment Series, Activated Sludge and Aerobic*". London: IWA Publishing.

WEF. (1997). "*Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities: A Manual of Practice, Water Environment Federation*".

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexos

Anexo secção 3.3.3- Projeto WATT

Tabela 3.3.3.1-Dados Oxigénio em mg/l para cada ponto a uma determinada frequência-profundidade em metros

	50-0,3 m	50-1,6 m	50-2,9 m	45-0,3 m	45-1,6 m	45-2,9 m	40-0,3 m	40-1,6 m	40-2,9 m	35-0,3 m	35-1,6 m	35-2,9 m	30-0,3 m	30-1,6 m	30-2,9 m
1	3,03	2,69	3,04	2,66	2,67	3,09	0,70	0,51	0,86	1,25	1,84	1,59	0,88	1,03	1,07
2	3,78	3,08	3,16	3,45	2,58	2,84	1,58	0,90	1,04	0,81	1,08	1,00	0,78	0,70	1,25
3	4,07	4,05	4,38	3,12	3,12	3,05	0,80	2,08	1,15	1,59	1,59	1,62	1,39	1,66	1,38
4	4,25	3,79	3,85	3,74	2,83	2,82	1,45	1,54	2,31	1,96	1,88	2,10	1,50	1,15	1,29
5	4,55	3,80	4,23	2,51	2,52	2,30	1,86	1,96	1,67	1,51	1,83	1,70	1,39	1,01	1,50
6	3,66	2,30	3,37	3,52	3,35	2,51	0,99	0,41	0,30	1,03	0,92	1,01	1,08	0,80	1,19
7	3,13	3,04	3,11	2,57	2,82	2,44	0,41	1,07	0,91	1,99	1,64	1,70	1,49	1,90	1,23
8	3,93	4,71	3,35	3,04	2,80	2,47	1,07	0,76	0,81	1,55	1,69	1,96	0,54	1,17	0,57
9	3,96	3,74	2,90	3,42	3,01	3,24	1,49	0,68	0,98	1,76	1,34	1,02	1,05	0,40	0,90
10	3,43	3,36	3,47	2,26	2,61	2,82	1,49	1,30	1,81	1,31	1,90	1,85	1,15	0,41	1,46
11	3,62	3,70	4,28	2,66	2,75	2,79	1,28	1,31	0,73	1,56	3,49	1,93	1,65	1,38	2,33
12	3,49	3,30	3,18	2,81	2,82	3,31	0,74	0,70	1,11	0,57	1,20	1,38	0,93	0,99	1,22
13	2,77	3,59	3,40	2,88	3,16	2,89	1,77	0,98	0,67	1,50	1,34	1,95	1,27	1,03	1,00
14	2,95	2,92	2,77	3,16	3,13	3,24	0,92	1,04	0,80	1,75	1,32	1,52	1,25	0,70	1,86

Tabela 3.3.3.2-Dados SV30 em ml/l para cada ponto a uma determinada frequência-profundidade em metros

	50-0,3 m	50-1,6 m	50-2,9 m	45-0,3 m	45-1,6 m	45-2,9 m	40-0,3 m	40-1,6 m	40-2,9 m	35-0,3 m	35-1,6 m	35-2,9 m	30-0,3 m	30-1,6 m	30-2,9 m
1	400	425	400	500	450	450	550	400	800	475	500	500	350	425	400
2	625	650	875	375	550	450	400	400	355	500	450	600	500	500	450
3	500	650	550	350	375	475	550	450	500	450	500	550	475	400	550
4	500	660	600	525	400	400	500	400	500	450	550	450	500	450	550
5	550	550	550	475	500	500	450	450	400	500	550	550	500	550	450
6	550	600	500	550	450	450	400	400	350	450	500	525	550	550	500
7	450	500	400	500	500	500	400	450	350	550	450	400	500	500	550
8	400	500	550	525	425	500	475	500	400	550	450	600	500	450	450
9	600	550	500	450	550	500	400	375	550	525	500	500	450	500	450
10	550	600	600	500	450	450	450	350	400	500	500	450	450	550	500
11	500	700	500	500	475	400	400	400	400	400	550	550	550	550	500
12	550	500	500	550	590	400	400	450	450	500	475	550	400	400	500
13	475	550	500	400	525	500	500	500	500	450	450	475	450	400	450
14	500	550	475	450	450	400	400	375	400	550	600	500	550	500	225

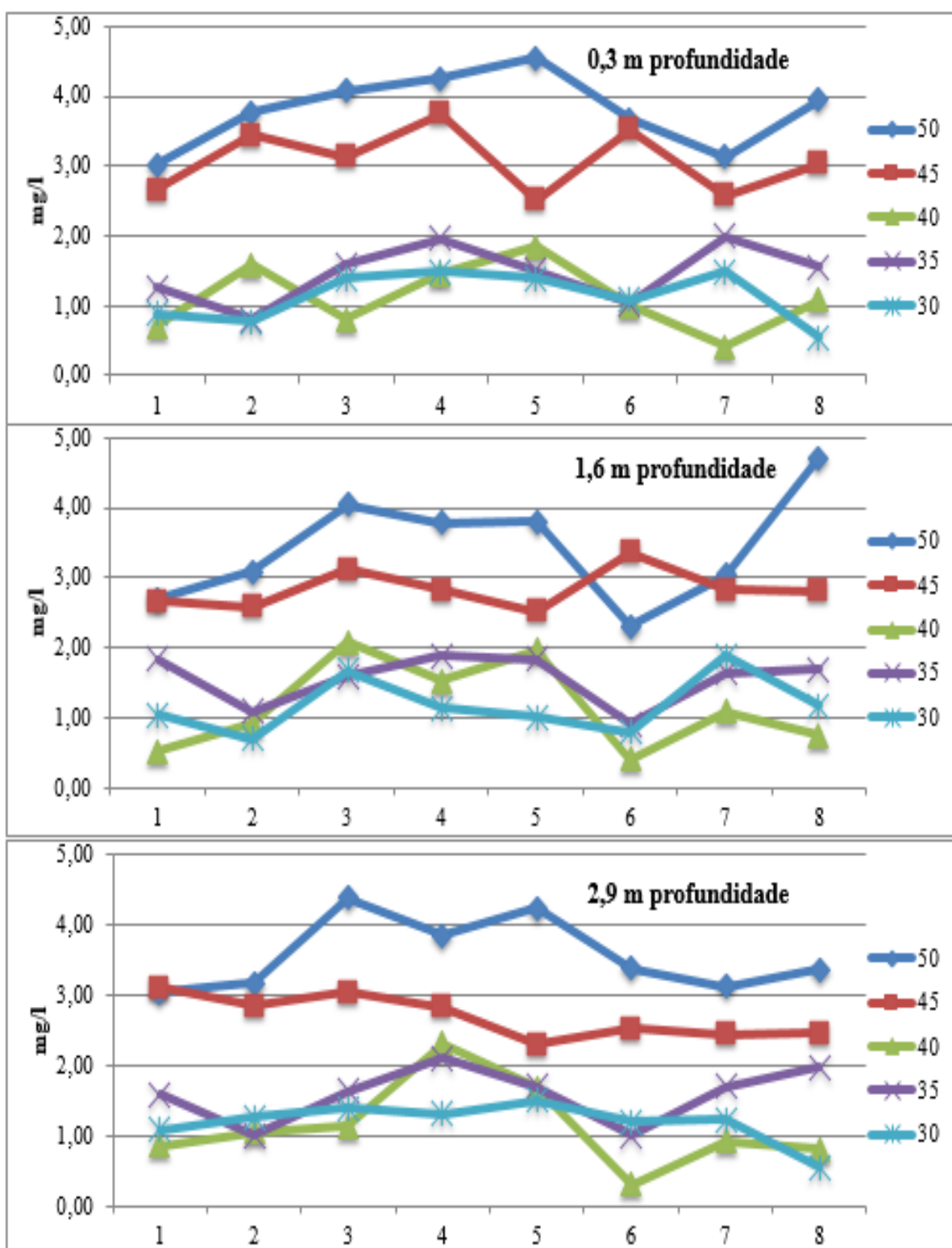


Figura 3.3.3.3– Comparação de oxigénios de pontos 1 a 8 (pontos junto á parede) por profundidade e frequência

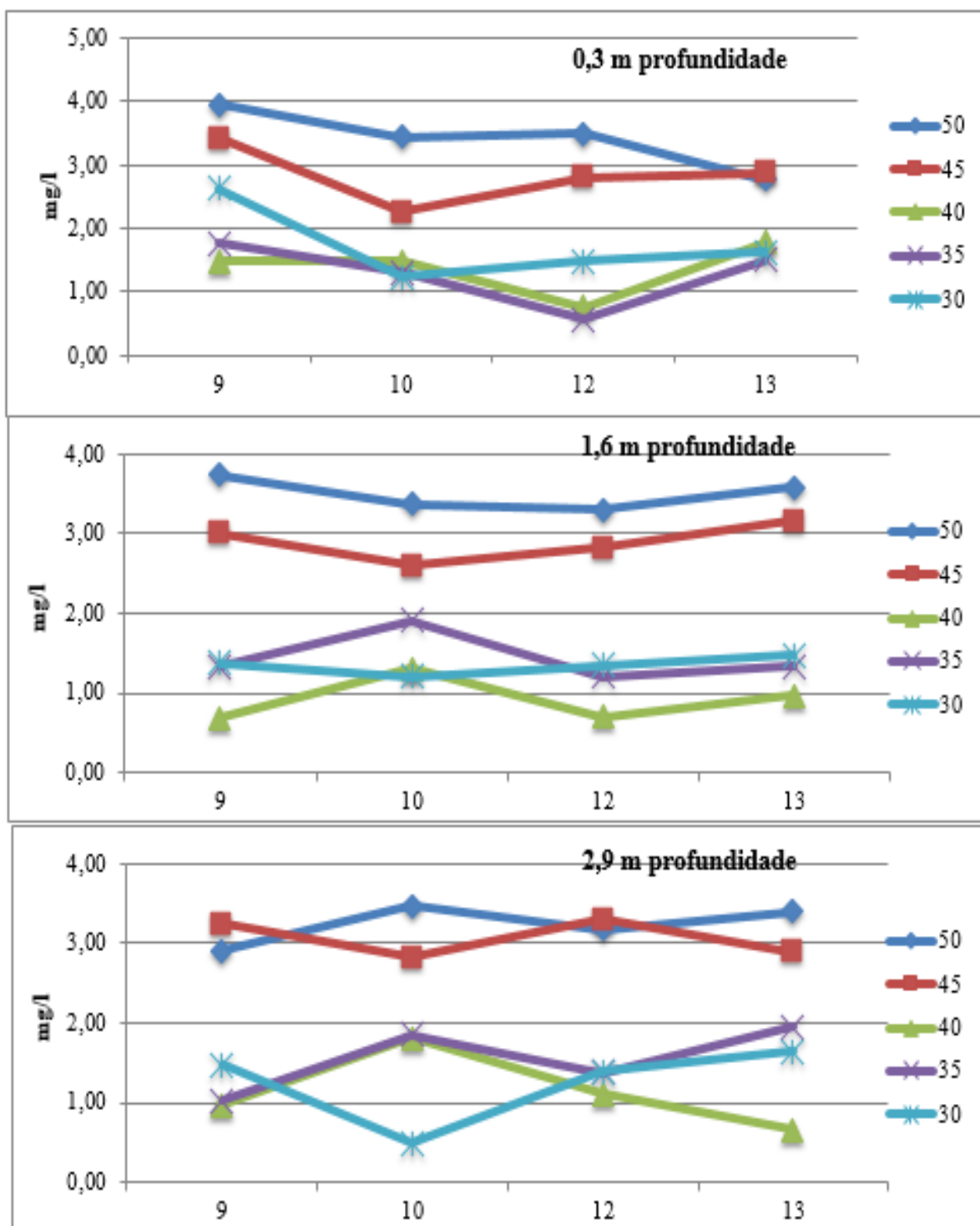


Figura 3.3.3.4- Comparação de oxigénios de pontos 9 a 13 (pontos junto á turbina) por profundidade e frequência

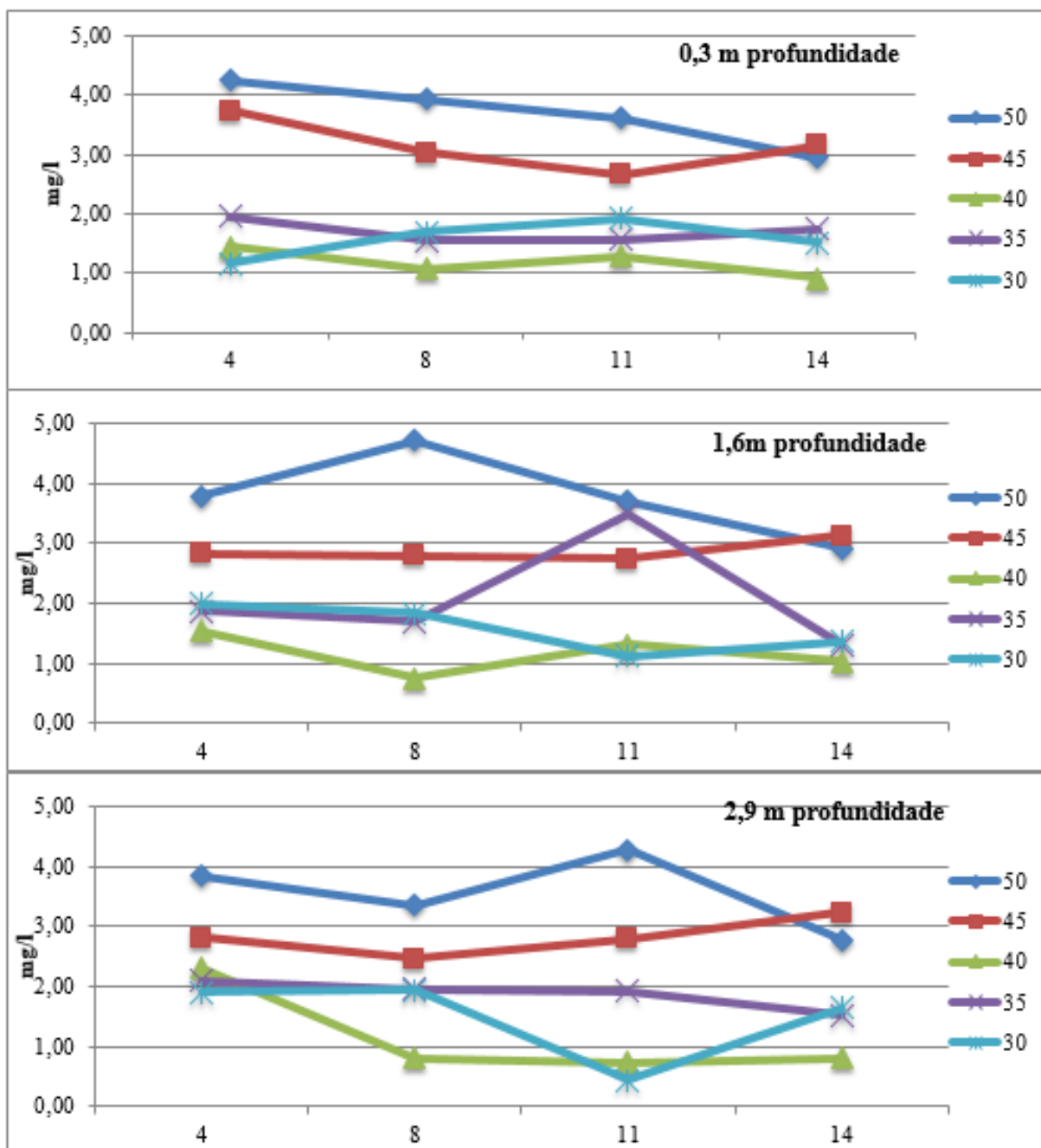


Figura 3.3.3.5 - Comparação de oxigénios de pontos 4,8,11 e 14 (pontos situados no passadiço) por profundidade e frequência

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Anexo Secção 3.3.4- ETAR Atouguia da Baleia

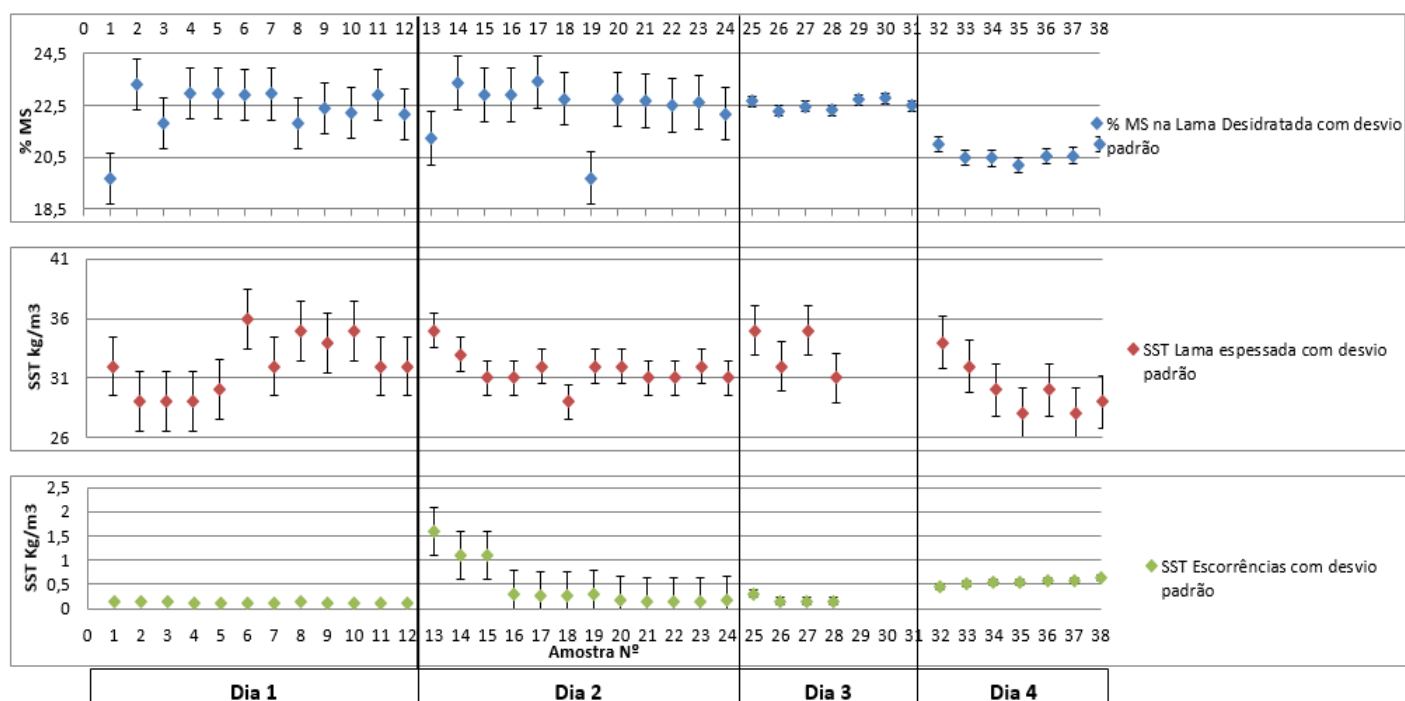


Figura 3.3.4.1-Evolução amostras de lama desidratada, espessada e escorrência

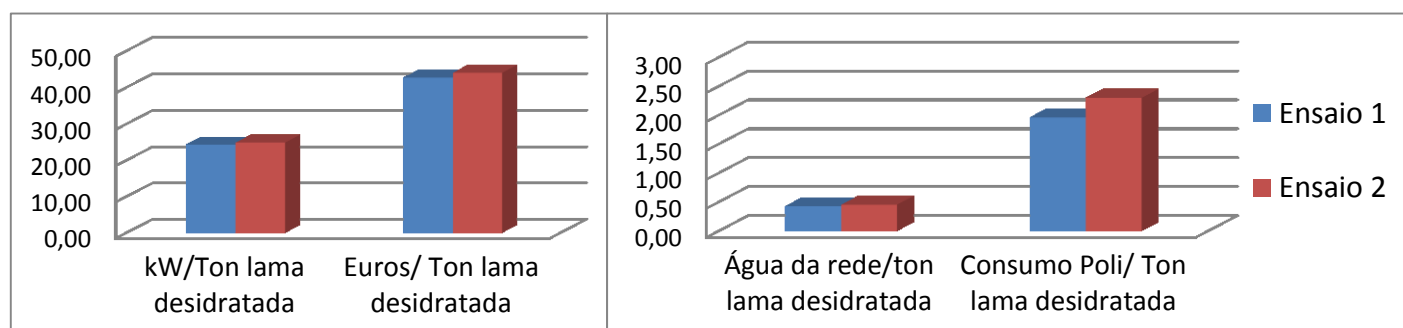


Figura 3.3.4.2-Evolução de rácios ao longo dos ensaios

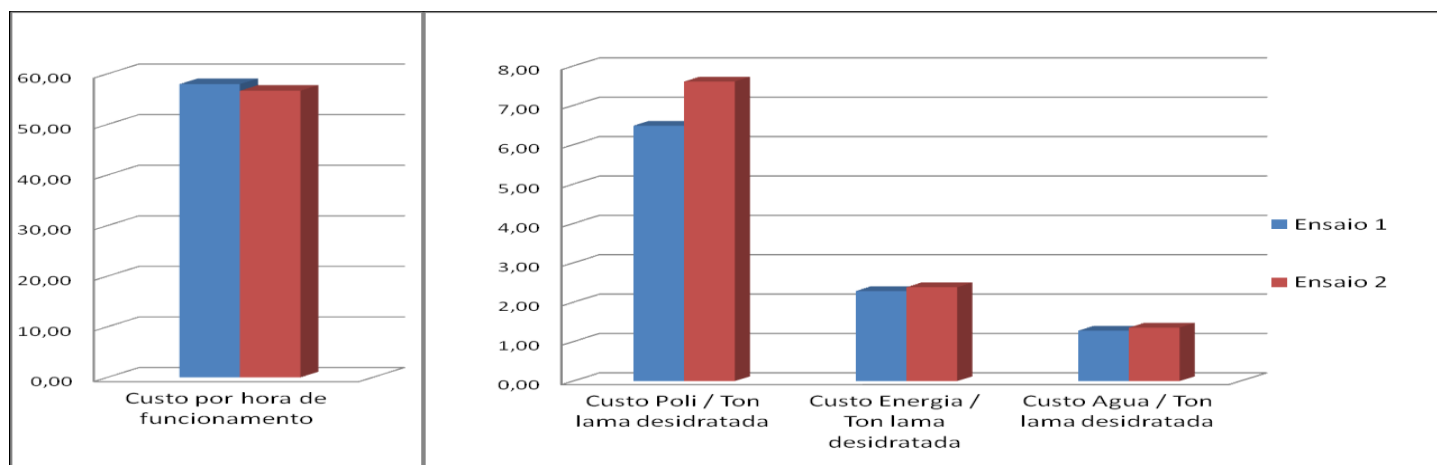


Figura 3.3.4.3-Evolução de vários rácios de custos por tonelada de lama desidratada (poli, energia e água) e por hora de funcionamento

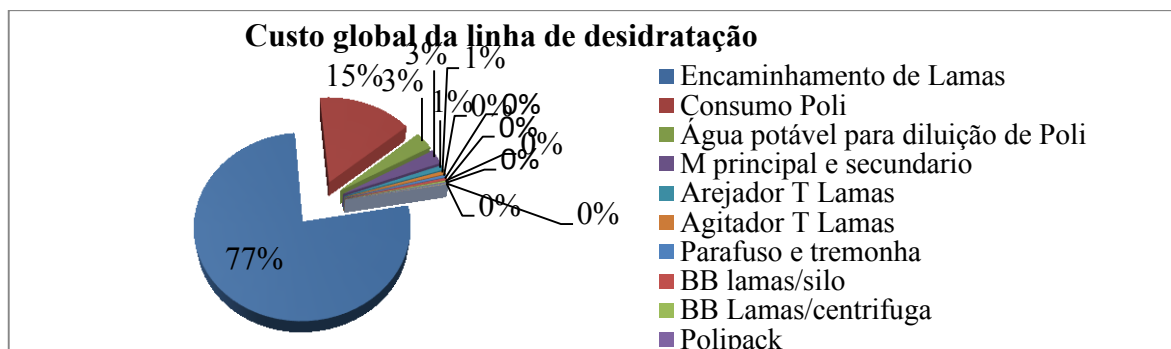


Figura 3.3.4.4-Custo global da linha de desidratação de lamas, durante o decorrer do ensaio

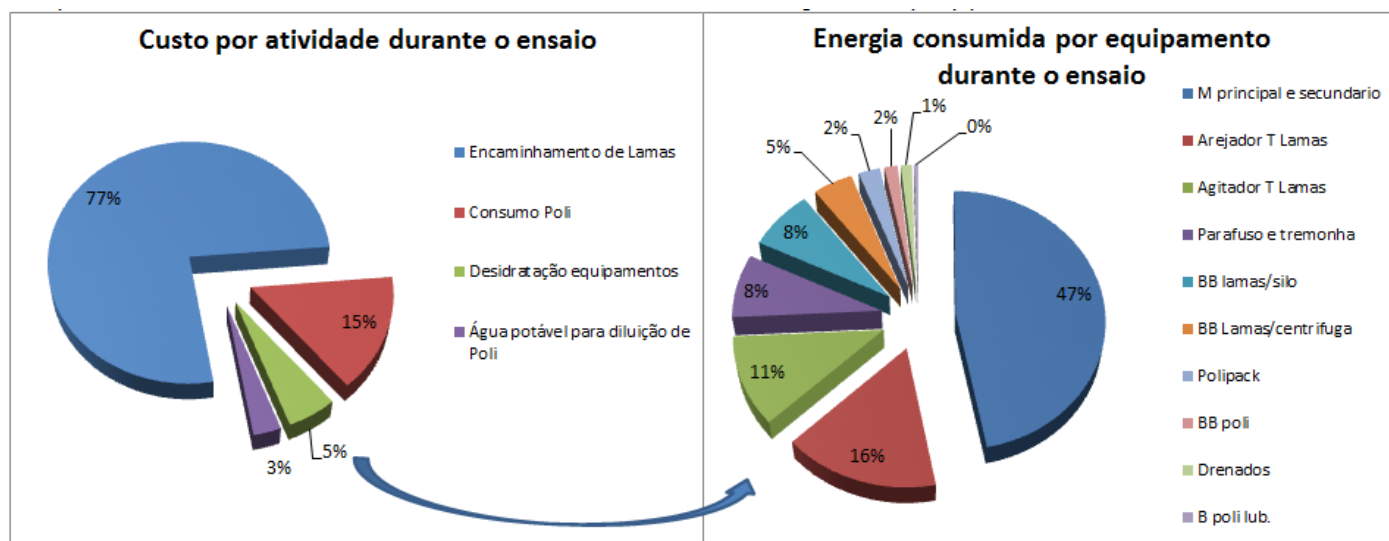


Figura 3.3.4.5-Custo por atividade e destaque de energia consumida pelos equipamentos



Figura 3.3.4.6-Distribuição dos consumos de energia pelos vários consumidores da desidratação

Esta página foi intencionalmente deixada em branco