



**Zonas Húmidas Construídas para
tratamento complementar de efluentes
domésticos: Ensaio experimental na ETAR
de Angra do Heroísmo**

Pedro Soares Brito do Rio

**Projecto de Mestrado em Engenharia e Gestão de
Sistemas de Águas**

Orientadora: Doutora Sílvia Quadros

Outubro 2016

Agradecimentos:

Todo este trabalho contou com a colaboração de diversas pessoas e entidades que sem as quais este não teria sido possível.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Professora Sílvia Quadros, que propôs o tema, fundamental durante todo este trajecto. Um agradecimento também Doutora Elsa Mesquita.

Aos Serviços Municipalizados, e à ETAR de Angra do Heroísmo por terem permitido o desenvolvimento das estações experimentais no seu espaço.

Um agradecimento à Fundação Gaspar Frutuoso pelo financiamento fornecido que foi importante para a concepção do delineamento experimental.

A todas as pessoas da Universidade dos Açores que ajudaram-me directamente como as técnicas de laboratório Sr^a. Berta Borges e Sr^a Gabriela Ribeiro e também ao Sr. Fernando Pereira pela ajuda na recolha das plantas.

Um agradecimento ao meu empregador Sucatas Brum por ter permitido que os meus horários não coincidisse com as deslocações à ETAR quando assim acontecia.

Aos meus amigos, Luís Soares, Marcos Salvador, Fábio Matos e Ricardo Serpa por terem ajudado com tudo o que necessitasse e pelo tempo despendido.

Por fim, um agradecimento especial aos meus pais e irmã por tudo o que me permitiram durante estes anos e por terem sempre acreditado que seria possível.

Resumo

O tratamento de águas residuais em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) é um processo fundamental para áreas de grandes aglomerados populacionais permitindo que a água residual tratada seja reposta no meio ambiente cumprindo os valores paramétricos necessários, não apresentando riscos para o próprio meio ambiente nem para a saúde humana. Em zonas de pequenos aglomerados este tratamento é demasiado dispendioso e torna-se impossível praticar devido ao diminuto caudal de entrada, sendo utilizadas na maioria dos casos fossas sépticas que fornecem um tratamento incompleto às águas residuais domésticas permitindo posteriormente a sua libertação no meio ambiente.

A falta de um tratamento mais completo para águas residuais em zonas de pequenos aglomerados pode ser colmatada com o uso de zonas húmidas construídas (ZHC) que utilizam uma combinação de meio de enchimento e plantas macrófitas para remover matéria orgânica, nutrientes como azoto e fósforo e microrganismos patogénicos.

Nesta dissertação pretendeu-se avaliar o desempenho de Zonas Húmidas Construídas de fluxo sub-superficial para o tratamento secundário de efluentes de fossas sépticas e para o tratamento de afinação de efluente secundário de ETAR, com vista à sua reutilização, utilizando plantas autóctones e meio de enchimento constituído por materiais nativos. Assim, o procedimento experimental consistiu em dois ensaios (A e B) constituídos cada um por três leitos, com meio de enchimento idêntico variando apenas a presença ou não de macrófitas. No leito 1 (A1 e B1) foi utilizado apenas o meio de enchimento, servindo de controlo, no leito 2 (A2 e B2) plantou-se *Arundo donax* (L.) espécie autóctone habitualmente utilizada em ZHC, e por fim, no leito 3 (A3 e B3) plantou-se *Bolboschoenus maritimus* (L.) e *Juncus acutus* (L.), espécies autóctones cuja utilização em ZHC não é conhecida.

A espécie *J. acutus* não se adaptou às condições do leito, sendo que dos 8 exemplares plantados apenas 2 sobreviveram. Quanto às restantes duas espécies não foi possível comprovar inequivocamente o melhor desempenho do *B. maritimus* embora os leitos com esta espécie tenham apresentado na generalidade os melhores resultados na remoção de matéria orgânica dissolvida (medida através da absorvância

nos 254 nm) e em coliformes fecais, em ambos os ensaios. Nos parâmetros medidos de forma descontínua, fósforo total, carbono orgânico total e carbono orgânico dissolvido, não se obtiveram resultados em número suficiente para afirmar o mesmo embora o leito 3 tenha apresentado geralmente os melhores resultados. Salienta-se no entanto que no ciclo 1, os efluentes dos leitos A2, A3, B2 e B3 apresentavam concentração de P total inferior a 2 mg/L.

Relativamente à qualidade para reutilização, o sistema demonstrou capacidade de remoção de CF acima das referências bibliográficas consultadas, tendo-se obtido valores entre 1.4 – 6.5 unidades logarítmicas de remoção para os leitos com *A. donax* e entre 1.3 – 6.5 unidades logarítmicas de remoção para o leito com *B. maritimus*.

Em relação à unidade de controlo, não se pode afirmar que tenha apresentado a pior prestação de todos os leitos, tendo inclusive em alguns ciclos apresentado resultados muito próximo dos valores obtidos nos leitos com macrófitas (absorvância A e B, coliformes e COT/COD), por vezes até registando melhores valores que estes.

Relativamente aos factores atmosféricos, a evapotranspiração causada pelas temperaturas elevadas e ausência de precipitação teve maior influência no desempenho dos leitos do que a precipitação elevada que ocorreu nos ciclos 4 e 5 (51.2 mm em 8 dias e 67.3 mm em 10 dias), tendo-se registado piores resultados de remoção associados à maior evapotranspiração.

Palavras-chave: zonas húmidas construídas, águas residuais urbanas, tratamento complementar, espécies autóctones, reutilização de água.

Abstract

Wastewater treatment plants (WWTP) provide suitable treatment to the wastewater originated from areas with high population density, allowing the discharge of the treated effluents into the environment according to the legal parametric values, protecting the human health and the environment. In low population density areas the same treatment it's too expensive and the small flows makes it unpractical. Most houses in this areas use septic tanks, which provide an incomplete treatment to the wastewater.

The lack of a more complete treatment for waste water in these areas can be overcome with the use of constructed wetlands (CW), which use a combination filling gravel and macrophytes plants to remove organic matter, nutrients, such as nitrogen and phosphorus and pathogenic microorganisms.

This work aimed to evaluate CW with sub-surface flow treatment performance for primary and secondary WWTP affluent, using native plants and native basaltic gravel for the bed filling. The experimental procedure consisted in 2 groups (A and B) each one with 3 beds. The first bed of each group (A1 and B1) acted as a control and doesn't have vegetation, the second bed was filled with rocks and colonised with *Arundo donax* (L.), a well know specie for CW; the last one (A3 and B3) was filled with gravel and colonised with *Bolboschoenus maritimus* (L.) and *Juncus acutus* (L.). to evaluate the native plants potential.

J. acutus didn't adapt very well since only 2 of the 8 plants survived. As for the other two species, we couldn't conclude that *B. maritimus* had the best performance although in general this specie had the best results in dissolved organic matter removal (measured by absorbance at 254 nm) and faecal coliform, in both groups. Occasionally measured parameters like total phosphorus, total organic carbon and dissolved organic carbon, not yielded results in sufficient number to claim the same although the bed 3 in both trials has presented the best results. It should be pointed out that in cycle 1, the effluent of A2, A3, B2 and B3 had a concentration of total P less than 2 mg/L.

About reuse quality potential the system demonstrated its ability to remove CF above the consulted references, having reached 1.4 and 6.5 log units of removal to the

beds with *A. donax* and between 1.3 and 6.5 log units of removal to the bed with *B. maritimus*.

It's impossible to say that the control bed had the worst results out of the 3 beds. In parameters like absorbance in A and B, faecal coliforms and TOC/DOC the results were similar to the planted beds, sometimes even better.

The high temperatures and low rainfall values reported during the last cycles promoted the evapotranspiration, which had more influence than the high rainfall values during cycles 4 and 5 (51.2 mm in 8 days and 67.3 in 10 days). The worse removal ratios occurred with the highest evapotranspiration ratios.

Key words: constructed wetlands, urban wastewater, complementary treatment, autochthonous species, water reuse

Índice de texto:

Resumo.....	5
Abstract	7
Capítulo 1 – Introdução.....	15
Capítulo 2 - Objectivo.....	17
Capítulo 3 – Revisão bibliográfica:	18
3.1. Sistemas de tratamento de águas residuais domésticas:	18
3.1.1. Métodos convencionais:	18
3.1.2. Métodos não convencionais:	23
3.2. - Saneamento de Águas Residuais Domésticas:.....	28
3.3. - Poluição difusa provocada por fossas sépticas:.....	31
3.4. – Pertinência da reutilização da água:	33
3.5. - Zonas húmidas naturais:	35
3.6. – Zonas húmidas construídas:.....	37
3.6.1. Espécies macrófitas utilizadas convencionalmente	37
3.6.2. Características do meio de enchimento:.....	38
3.6.3. Características de afluentes a zonas húmidas construídas:.....	39
3.6.4. Características dos sistemas de ZHC	39
3.6.4.1. Carga hidráulica.....	39
3.6.4.2. Condutividade hidráulica	40
3.6.4.3. Tempo de retenção hidráulico	41
3.6.4.4. Acessórios de entrada e de saída	41
3.6.5. Eficiências de remoção de contaminantes.....	42
3.6.5.1. Compostos orgânicos	42
3.6.5.1.1. Carência bioquímica de oxigénio e carência química de oxigénio.....	43
3.6.5.1.2. Carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico dissolvido (COD).....	44
3.6.5.1.3. Absorvância 254nm.....	45
3.6.5.2. Sólidos suspensos.....	45
3.6.5.3. Azoto	45
3.6.5.4. Fósforo	46
3.6.5.5. Microrganismos patogénicos	47
Capítulo 4 – Trabalho experimental.....	49
4.1 Concepção, construção e desmantelamento da ZHC	49

4.2. Condições de operação	55
4.3 Monitorização	55
Capítulo 5 – Apresentação e discussão de resultados	58
5.1. Temperatura e condutividade eléctrica	59
5.2. Absorvância nos 254nm	63
5.3. Coliformes fecais	72
5.4. Fósforo Total, COT e COD.....	77
Capítulo 6 – Conclusões e desenvolvimentos futuros	82
Bibliografia:	87
Anexo I.....	94
Anexo II.....	95
Anexo III.....	97
Anexo IV	98
Anexo V	100
Anexo VI	103
Anexo VII	104

Índice Figuras:

FIGURA 1 - FLUXO DE UMA ETAR. (FONTE: METCALF & EDDY. (2003)).	19
FIGURA 2 - ESTRUTURA INTERNA DE UMA ZHC. (FONTE: PISOEIRO, 2013).	23
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DE ZONAS HÚMIDAS CONSTRUÍDAS (FONTE: PISOEIRO. 2013).	24
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DE ZHC COM MACRÓFITAS SUBMERSAS (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	25
FIGURA 5 - REPRESENTAÇÃO DE ZHC COM MACRÓFITAS FLUTUANTES (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	25
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DE ZHC COM MACRÓFITAS EMERGENTES (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	25
FIGURA 7 - ZHC DE ESCOAMENTO VERTICAL SUB-SUPERFICIAL (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	26
FIGURA 8 - ZHC DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUB-SUPERFICIAL. 1, ZONA DE DISTRIBUIÇÃO; 2, MEMBRANA IMPERMEÁVEL; 3, MEIO FILTRANTE/SUBSTRATO; 4, VEGETAÇÃO; 5, NÍVEL DO EFLUENTE NO LEITO; 6, ZONA DE COLEÇÃO; 7, DRENO COLECTOR; 8, ESTRUTURA DE SAÍDA (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	27
FIGURA 9 - ZHC DE ESCOAMENTO HÍBRIDO SUB-SUPERFICIAL. 1, ZONA HÚMIDA CONSTRUÍDA DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUB-SUPERFICIAL; 2, ZONA HÚMIDA CONSTRUÍDA DE ESCOAMENTO VERTICAL SUB-SUPERFICIAL (FONTE: GONÇALVES (2014) ADAPTADA DE VYMAZAL (2007)).	28
FIGURA 10 - ESQUEMA DE UMA FOSSA SÉPTICA (FONTE: WIKIPÉDIA).	31
FIGURA 11 - UTILIZAÇÃO DE BOLAS DE PLÁSTICO PARA PROVIDENCIAR SOMBRA. (FONTE: HTTP://NEWS.NATIONALGEOGRAPHIC.COM).	33
FIGURA 12 - BOLBOSCHOENUS MARITIMUS L. PALLA (FONTE: HTTP://NEWFS.S3.AMAZONAWS.COM).	36
FIGURA 13 - JUNCUS ACUTUS L. (FONTE: HTTP://NATHISTOC.BIO.UCI.EDU).	36
FIGURA 14 - ARUNDO DONAX L. (FONTE: HTTP://WWW.AZORESBIOPORTAL.ANGRA.UAC.PT).	38
FIGURA 15 - EXEMPLOS DE ACESSÓRIOS DE ENTRADA (UNHABITAT, 2008).	42
FIGURA 16 - EXEMPLO ACESSÓRIO DE SAÍDA (UNHABITAT, 2008).	42
FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS NA ETAR DE ANGRA DO HEROÍSMO: TRATAMENTO PRIMÁRIO A) E TRATAMENTO SECUNDÁRIO B).	49
FIGURA 19 - CAIXA UTILIZADA NO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.	49
FIGURA 20 - PRAIA DAS ESCALEIRAS. LOCAL DA RECOLHA DO MEIO DE ENCHIMENTO.	50
FIGURA 21 - REDE UTILIZADA NA PENEIRAÇÃO.	51
FIGURA 22 - MONTAGEM DAS TUBAGENS.	52
FIGURA 23 - COLOCAÇÃO DOS CALHAUS COM DIMENSÕES MAIORES QUE 2.5CM NAS PONTAS E COM MENOS DE 2.5CM NO MEIO.	52
FIGURA 24 - PREENCHIMENTO EM ALTURA DO MEIO DE ENCHIMENTO NA ZONA B E CONSEQUENTE ENCHIMENTO COM ÁGUA DA REDE PARA LIMPEZA DOS CLORETOS.	53
FIGURA 25 - IMPLEMENTAÇÃO DAS PLANTAS NO MEIO DE ENCHIMENTO NA ZONA A. (28/03/2016).	53
FIGURA 26 - IMPLEMENTAÇÃO DAS PLANTAS NO MEIO DE ENCHIMENTO NA ZONA B. (28/03/2016).	54
FIGURA 27 – ABSORVÂNCIA DO ENSAIO A (CICLO 1-6).	66
FIGURA 28 - ABSORVÂNCIA DO ENSAIO A (CICLO 7-12).	67
FIGURA 29 – ABSORVÂNCIA NO ENSAIO B (CICLO 1-6).	70
FIGURA 30 – ABSORVÂNCIA NO ENSAIO B (CICLO 7-12).	71
FIGURA 31 – COLIFORMES FECAIS NO ENSAIO B (CICLO 1-6).	75
FIGURA 32 – COLIFORMES FECAIS NO ENSAIO B (CICLO 7-12).	76
FIGURA 33 – FÓSFORO TOTAL NO ENSAIO A	79
FIGURA 34 – FÓSFORO TOTAL NO ENSAIO B.	79

Índice de Quadros:

QUADRO 1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUAL AFLUENTE A UMA ETAR. (FONTE: METCALF & EDDY, 2003).....	18
QUADRO 2 - POPULAÇÃO RESIDENTE EM LUGARES COM 2000 OU MAIS HABITANTES (N.º) POR LOCAL DE RESIDÊNCIA (À DATA DOS CENSOS 2011) E SEXO; DECENAL - INE, RESENSEAMENTO DA POPULAÇÃO E HABITAÇÃO. FONTE: SITE INE (CONSULTADO A 30-12-2015).	28
QUADRO 3 - POPULAÇÃO SERVIDA POR TIPO DE INSTALAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (FONTE: RELATÓRIO INSAAR 2011 (DADOS 2009)).....	29
QUADRO 4 - VALORES GUIAS PARA ÁGUAS PARA REUTILIZAÇÃO. (ADAPTADO: METCALF & EDDY, 2003).	34
QUADRO 5 - VALORES TÍPICOS DO AFLUENTE A ZONAS HÚMIDAS CONSTRUÍDAS (FONTE: CONSTRUCTED WETLANDS TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATERS).....	39
QUADRO 6 - VALORES TÍPICOS DE POROSIDADE E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA PARA DIFERENTES MEIOS DE ENCHIMENTO. (FONTE: GALVÃO, 2009).....	40
QUADRO 7 - EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DA CBO5 E CQO EM ZHC DE ESCOAMENTO HORIZONTAL (FONTE: GALVÃO, 2009).	44
QUADRO 8 - EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE SST EM ZHC COM ESCORRIMENTO HORIZONTAL (FONTE: GALVÃO 2009).	45
QUADRO 9 - EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE AZOTO EM ZHC DE ESCORRIMENTO HORIZONTAL. (FONTE: GALVÃO 2009).	46
QUADRO 10 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE MICRORGANISMOS PATOGENICOS EM ZHC. (FONTE: GALVÃO 2009).	48
QUADRO 11 - MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DE CF NOS FLUXOS DE SAÍDA EM CADA LEITO.	72
QUADRO 12 - COT/COD ENSAIO A/B LEITOS DE MACRÓFITAS	80
QUADRO 13 - COT/COD FLUXOS DE ENTRADA A E B	80

Índice de Gráficos:

GRÁFICO 1 - VARIAÇÃO DA DENSIDADE DO BIOFILME E DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA AO LONGO DO LEITO. (FONTE: GALVÃO, 2009).	41
GRÁFICO 2 – TEMPERATURA DA ÁGUA NO ENSAIO A.	60
GRÁFICO 3 - TEMPERATURA DA ÁGUA NO ENSAIO B.	60
GRÁFICO 4 – CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA NO ENSAIO A.	62
GRÁFICO 5 – CONDUTIVIDADE ELÉCTRICA NO ENSAIO B.....	62

Capítulo 1 – Introdução

As Zonas Húmidas Construídas (ZHC) são sistemas de depuração de água residual que tentam recriar um sistema natural com processos físicos, químicos e biológicos idênticos a zonas húmidas naturais contribuindo para a melhoria da qualidade de água (Pisoeiro, 2013). Estes sistemas são constituídos por um meio de enchimento granulado (leito) onde se enraízam plantas vasculares, sendo a depuração do afluente assegurada pelos mecanismos anteriormente referidos. Este tipo de sistema de tratamento de águas residuais difere dos sistemas habituais, pois não é necessário que se proceda ao tratamento em órgãos distintos e não é necessária a utilização de energia e reagentes. As ZHC têm a capacidade de transformar muitos dos poluentes comuns presentes na água residual em subprodutos inofensivos, que podem vir a ser aproveitados pelo ecossistema (Gonçalves 2014), pelo que este tipo de sistema tem grande utilidade tanto em zonas de pequenos aglomerados, que não tem possibilidade de ter uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) convencional e como sistemas de afinação associados a grandes ETAR. A principal vantagem dos sistemas naturais, comparando-os com os sistemas convencionais, é que estes dependem de fontes de energia renováveis que ocorrem naturalmente, ao contrário dos sistemas convencionais que dependem de mecanismos de arejamento e de mistura mecânica pelo que a sua dependência energética e química é muito maior, resultando em maiores custos de operação (Gonçalves, 2014). Além disso, também tem como vantagens ser tolerante a variações bruscas de caudal e de carga orgânica afluente, ter manutenção simples e boa integração paisagística, entre outros. Tem como desvantagem a maior área que ocupam quando comparados com os sistemas convencionais, baixo rácio de remoção/m³, período de desenvolvimento e estabilização do biofilme, colmatção do meio, etc. (Pisoeiro, 2013). A eficiência deste tipo de sistemas é variável dependendo de vários factores, tais como a temperatura, o tipo de tratamento efectuado a montante. De acordo com Mæhlum e Stålnacke, 1999, em climas frios, precedido por pré-tratamento aeróbio, estes sistemas de ZHC que incluem meios de adsorção de fósforo apresentam remoções de CBO > 75%, P > 90% e N total e amoníaco entre 40-80%.

Numa ilha, onde grande parte da população é servida por fossas sépticas é pertinente pensar neste tipo de sistema natural como possibilidade de tratamento para pequenos aglomerados, especialmente em instalações próximas de meios aquáticos sensíveis, tais como: zonas húmidas naturais, zonas costeiras de prática balnear ou recreativa e águas subterrâneas com nível freático elevado. Nestes casos, as ZHC poderão constituir um complemento do tratamento por fossa séptica antes da infiltração no solo. Também em ETAR convencionais onde se pretenda implementar a reutilização de água, o tratamento adicional necessário para conferir a qualidade requerida para sua reutilização, poderá ser obtido através de sistemas naturais com vantagens económicas face a sistemas mais exigentes a nível técnico e energético.

As plantas utilizadas em ZHC e que apresentam elevadas eficiências de remoção não integram a lista de espécies autóctones. Segundo Galvão, 2009 o tipo de plantas utilizadas em leitos de macrófitas de escoamento sub-superficial deve ser capaz de suportar inundações frequentes das raízes e parte inferior dos caules. As espécies mais utilizadas são dos géneros *Typha*, *Phragmites*, *Iris*, *Cyperus*, *Phalaris* e *Schoenoplectus (Scirpus)*, sendo que a nível mundial a espécie mais utilizada é a *Phragmites australis*. Para evitar a importação de novas espécies, que poderiam constituir uma ameaça à preservação da biodiversidade dos sistemas insulares, a implementação de sistemas naturais de tratamento deverá ser conduzida utilizando espécies autóctones (Cabral, 2013). Nesse contexto, foram seleccionadas duas espécies autóctones, a *Bolboschoenus maritimus (L.) Palla* e o *Juncus acutus L.*, e comparado o seu desempenho com uma espécie convencionalmente utilizada o *Arundo donax L.*