

Desidratação e Estabilização de Lamas Biológicas de ETAR Urbana em *Reed beds*: Ensaio-piloto na ETAR de Vila do Porto, Açores

Ana Câmara^a, Sílvia Quadros^{b, c,*}

^a Câmara Municipal de Vila do Porto, Vila do Porto, Portugal

^b Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Ponta Delgada, Portugal

^c Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CBIO), Ponta Delgada, Portugal

RESUMO

A desidratação mecânica de lamas biológicas de ETAR urbana tem custos elevados em reagentes e energia. Os leitos de secagem plantados com vegetação emergente *autóctone* são uma opção sustentável que utiliza a atividade biológica e energia renovável, solar, para a estabilização das lamas propiciando a utilização como fertilizante. No arquipélago dos Açores a Ilha de Santa Maria, apresenta condições climatéricas favoráveis para a introdução desta tecnologia sendo a *Typha domingensis* a espécie local mais promissora para estes sistemas. Nesta comunicação apresentam-se os resultados do primeiro ensaio realizado na ETAR de Vila do Porto (380 e.p.) numa unidade piloto formada por dois leitos, operados em paralelo. Cada leito com uma área superficial de 0,9 m² e contendo uma camada de meio filtrante (4mm<Ø<25mm) de 0,4 m, foi plantado com *Typha domingensis* (10 plantas/m²). As lamas biológicas com 3 a 4% de matéria seca (MS) foram aplicadas manualmente nos leitos em três ciclos consecutivos, com intervalos médios de 28 dias. Em cada ciclo alimentou-se uma carga de sólidos de 5 kg MS/m², equivalente a 65 kg MS/m²/ano. No final dos 3 ciclos, as lamas retidas apresentavam já um teor médio de MS de 17% demonstrando a ocorrência efetiva de desidratação para temperaturas médias do ar de 16°C e pluviosidade acumulada de 308mm, ainda que as plantas se encontrassem num estádio de desenvolvimento inicial (500±130 mm).

Palavras-Chave: Açores, baixo custo, lamas biológicas de ETAR urbana, Reed beds, sustentabilidade, *Typha domingensis*

doi: 10.22181/aer.2025.0305

* Autor para correspondência
E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt

Biosolids Dewatering and Stabilization in Reed beds: A Pilot Scale Essay at WWTP of Vila do Porto, Azores

Ana Câmara^a, Sílvia Quadros^{b, c,*}

^a Câmara Municipal de Vila do Porto, Vila do Porto, Portugal

^b Universidade dos Açores, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Ponta Delgada, Portugal

^c Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos (CBIO), Ponta Delgada, Portugal

ABSTRACT

The mechanical dewatering of biosolids of urban wastewater treatment plants is associated with high reagent and energy costs. The drying beds planted with native emergent plants are a sustainable option that uses the biological activity and renewable energy (solar) to sludge stabilization and use as fertilizer for agriculture. In the Azores archipelago, the island of Santa Maria has suitable weather conditions for the introduction of this technology, with *Typha domingensis* being the most promising local species for these systems. This research presents the results of the first pilot-scale essay carried out at Vila do Porto Urban Waste Water Treatment Plant (380 PE), in a pilot scale established in two beds, operated in parallel. Each bed with a surface area of 0,9 m², has a 0,4m filter layer (4mm<Ø<25mm), planted with *Typha domingensis* (10 plants/m²). The biosolids, with dry matter (DM) content of 3 to 4%, were manually applied, performing three consecutive drying cycles with an average interval of 28 days. In each cycle, a solids loading rate of 5 kg DM/m² was applied, equivalent to 65 kg DM/m²/year. At the end of 3 cycles the average DM content of 17% shows the effective sludge dewatering for average air temperature of 16°C and accumulated precipitation of 308 mm, even though, the plants were in the first growing stages (500±130 mm).

Keywords: Azores, biosolids, low cost, Reed beds, sustainability, *Typha domingensis*

doi: 10.22181/aer.2025.0305

*Corresponding author
E-mail: silvia.ab.quadros@uac.pt

1 INTRODUÇÃO

A estabilização de lamas de ETAR em leitos de secagem com plantas, conhecidos por *Reed Beds (RB)* combina os conceitos de leitos de secagem de lamas convencionais e Zonas Húmidas Construídas (ZHC) de escoamento superficial vertical. Esta tecnologia revista recentemente por Tan et al. (2023), permite a gestão sustentável de lamas biológicas em linha com os princípios da economia circular e de valorização de nutrientes.

As *Reed Beds* existem na Dinamarca desde 1988 (Nielsen 2005) sendo amplamente utilizadas no norte da Europa para desidratar e mineralizar as lamas em excesso dos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas por lamas ativadas (Brix 2017). Na região mediterrânea e nos trópicos existem vários sistemas piloto (Bui 2019). Em, Portugal o recurso a esta solução na ETAR de Barroca d'Alva, em Alcochete, tem já 20 anos (Matos et al. 2023).

Em comparação com os métodos convencionais do tratamento de lamas, as RB têm um custo de investimento e de operação mais baixo, são energeticamente eficientes e não requerem a adição de reagentes (Brix 2017). Contudo, a área necessária à sua implementação depende das condições meteorológicas locais, da vegetação selecionada e das condições de exploração.

2 Materiais e métodos

2.1 Caracterização do ensaio piloto

Para o ensaio experimental implementaram-se dois leitos de secagem numa zona contígua à ETAR de Vila do Porto. Para o efeito usaram-se dois tanques em PEAD ($1,0 \times 0,9 \times 0,9$ m) equipados com uma tubagem perfurada também em PEAD ($\varnothing = 32$ mm), de forma a garantir a ventilação do leito e a drenagem do percolado, que depois de recolhido através de uma caleira exterior comum aos dois tanques, foi armazenado em caixa coberta com um volume de 75 L (Fig. 1a).

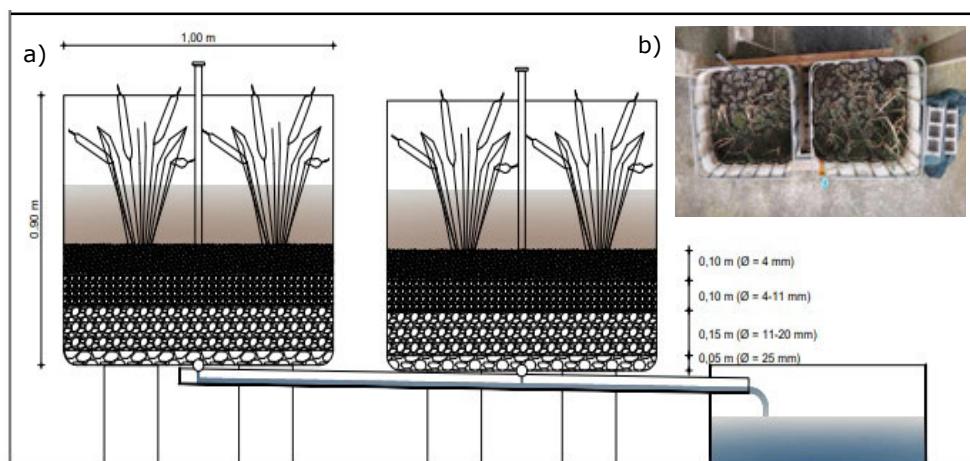


Figura 1 (a) Esquema de enchimento do meio filtração e enraizamento dos leitos piloto de secagem plantados com *Thypa dormigensis* à densidade de 10 plantas/ m^2 . Carga aplicada, expressa em sólidos totais secos foi de 5 kg/ m^2 por ciclo para um período médio de pousio de 28 dias. (b) Foto dos leitos em operação, no final do $2.º$ ciclo de aplicação, tendo a lama atingido 29% em Matéria Seca.

O meio de enchimento dos leitos tem uma altura total de 0,40 m, e é composto por uma camada drenante de 0,20 m em calhau rolado ($\varnothing \approx 25$ mm), encimada por brita de construção civil ($11 < \varnothing < 20$ mm), e uma camada para enraizamento inicial das plantas, com a mesma altura, e composta por brita ($4 < \varnothing < 11$ mm) combinada com uma camada de menor granulometria (< 5 mm). Todo o material foi lavado previamente.

De acordo com Raposo et al. (2022), a espécie *Typha domingensis* é a única do género *Typha* presente nos Açores e restrita à ilha de Santa Maria. Assim sendo, foi a espécie escolhida para a plantação dos leitos, tendo sido utilizada a densidade de 10 plantas/m² (Metcalf e Eddy 2003, Edwards et al. 2011 e Hardej e Ozimek 2002 citado por Uggetti et al. 2010, Brix 2017). As plantas foram colhidas nas proximidades do aeroporto no estado adulto, lavadas, pesadas e plantadas nos leitos (Figura 2).



Figura 2 – Exemplar de *Typha domingensis* antes da plantação

O carregamento dos leitos foi realizado manualmente com lamas espessadas provenientes do silo de lamas da ETAR de Vila do Porto, cujo tratamento secundário consiste num sistema de lamas ativadas com arejamento prolongado. Atualmente as lamas do decantador final são recirculadas ao tanque de arejamento e as lamas em excesso armazenadas no silo de lamas para serem posteriormente desidratadas por centrifugação com adição de polielectrólito. A carga afluente da ETAR ronda atualmente os 380 equivalentes de população (e.p.).

2.2 Operação e monitorização do ensaio-piloto

Sendo as RB muito influenciadas pelos fatores meteorológicos, refere-se que na ilha de Santa Maria, a mais seca do arquipélago, a precipitação anual atinge os 755 mm, e a temperatura média do ar situa-se próxima dos 18°C (PGRH 2022). De acordo com a classificação climática de Köppen para os Açores (PGRH 2022) – clima temperado – e os valores típicos referidos na bibliografia (Metcalf e Eddy 2003, Pandey e Jansen 2015, Brix 2017, Tan et al. 2023), é recomendada uma carga de sólidos totais expressos em Matéria Seca (MS) aplicada de cerca 60 kg MS/m².ano.

Assim, admitindo uma frequência mensal de carregamento, a matéria seca a aplicar em cada carregamento corresponde a cerca de 5 kg MS/m², sendo o volume de lama correspondente estimado através da eq. 1:

$$V = \frac{MS}{\rho_a SSPs} \quad (\text{eq. 1})$$

onde MS representa matéria seca (kg), ρ_a , a massa específica da água (kg/m³), SS, o peso específico da lama (adimensional) e Ps, a percentagem de sólidos (decimal). O valor obtido foi de 237 L de lamas, para uma Ps média de 2,1% e peso específico da lama (SS), de 1,005 (Metcalf e Eddy 2003).

As lamas foram aplicadas manualmente na superfície dos leitos, com baldes de 10 L, num total de 230 L em cada leito, o que, atendendo à área unitária de 0,9 m², corresponde a uma carga anual de 64,7 kg MS/m².ano, e a que se seguiu um período de pousio de cerca de 28 dias.

A operação do ensaio-piloto foi realizada durante o primeiro trimestre de 2024, tendo sido registada a altura de lama (inicial e final) com uma régua graduada fixada no exterior dos tanques. O volume de percolado produzido em cada ciclo foi estimado a partir da medição da altura de líquido na caixa de recolha.

No Quadro 1, apresenta-se a precipitação acumulada (soma da precipitação diária) observada na Estação Meteorológica Automática Santa Maria/Aeroporto (Coordenada: Lat. 36°58'23"N / Lon. 25°10'22"W), a 96 m de altitude, e a temperatura média do ar (média dos valores de temperatura média diária do ar), e radiação solar total observados na Estação Meteorológica da Praia Formosa (Coordenada: Lat. 36°57'11"N / Lon. 25°5'31"W), a 190 m de altitude.

A análise do teor em MS das lamas e do percolado para sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), azoto total (NT), nitrato (NO₃⁻), fósforo total (PT), carência química de oxigénio (CQO) e coliformes fecais (CF) foram realizadas em laboratório externo (Agroleico Açores), em amostras de lamas e percolado recolhidas pela entidade gestora da ETAR de Vila do Porto. As amostras de lamas finais recolhidas em cada tanque, foram o resultado de colheitas de material a diferentes profundidades de cada leito, de modo a obter-se uma amostra representativa de cada camada de lama.

A monitorização da adaptação da espécie *Typha domingensis* às condições de operação foi realizada por registo fotográfico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura inicial e final de lamas (média dos dois leitos) apresentadas no Quadro 1, mostram que no primeiro e segundo ciclos houve uma diminuição de mais de 70% da altura inicial e no 3.º ciclo foi ligeiramente inferior. O volume de percolado mais elevado foi produzido no primeiro ciclo, que corresponde a mais do dobro dos ciclos seguintes, o que estará diretamente correlacionado com a precipitação acumulada. De facto, a precipitação ocorrida o 1.º ciclo foi de 246 mm, o que corresponde a mais de 25% da precipitação anual da ilha de Santa Maria, verificando-se nos restantes ciclos precipitação acumulada muito menor (cerca de 11 vezes inferior e 6 vezes inferior).

Quadro 1. Dados de operação dos 3 ciclos do ensaio-piloto

Ciclo	Período	Duração (dias)	h (m)		η (%)	Vol. percolado (m ³)	P acumulada (mm)/ Vol. adicional (m ³ /ciclo)	T média ar (°C)	Radiação solar total (W/m ²)
			T _i	T _f					
1	9/1 – 8/2	30	0,22	0,06	73	0,414	246 / (0,442)	16,0	13 396
2	8/2 – 4/3	25	0,21	0,05	76	0,202	21 / (0,038)	17,0	14 235
3	4/3 – 3/4	30	0,22	0,09	59	0,207	41 / (0,074)	15,8	21 122

Nota: Os resultados são médias dos valores obtidos em cada um dos leitos, sendo h, a altura média da lama após aplicação (t_i) e no final do ciclo (t_f), η a eficiência na redução de volume obtida no final do ciclo e variáveis meteorológicas P, a precipitação. T a temperatura e radiação solar

A observação das plantas ao longo dos três ciclos de desidratação, permitiu concluir que a *Typha domingensis* se adaptou às condições de operação como se pode observar na Figura 3. No final do ensaio experimental observa-se uma taxa de sobrevivência das plantas de 90 e 100% nos leitos 1 e 2, respetivamente, e um maior desenvolvimento das

plantas no leito 2 associado a maior exposição solar. A presença de algas verdes na superfície de qualquer dos leitos no final do ensaio denota um eventual contributo para a mitigação de nutrientes presentes nas lamas.



Figura 3. Leitos no terceiro ciclo do ensaio, imediatamente após a aplicação da lama (Lama inicial) e no final do ciclo de tratamento (Lama final).

A caracterização das lamas no início e no final de cada ciclo, relativo ao teor em MS e à razão SSV/SST é apresentada na Figura 4. Para os valores das lamas finais, apresenta-se a média e desvio padrão da monitorização dos dois leitos ($n=2$). O conteúdo em MS nas lamas no final de cada ciclo denota a influência das condições climatéricas tendo atingido o valor máximo de 29% no final do 2.º ciclo, que correspondeu ao ciclo com maior temperatura média do ar de 17,0°C e menor precipitação acumulada (21 mm). A estabilização das lamas ocorreu francamente após o 3.º ciclo com uma diminuição da razão SSV/SST das lamas a estabilizar de 0,7 para 0,4 (Figura 4). Durante este ciclo registou-se o maior valor de radiação solar total (21 122 W/m²), o que poderá ter contribuído para uma maior atividade microbiana na estabilização das lamas.

O maior desenvolvimento das plantas neste último ensaio pode ter potenciado a capacidade de oxigenação do meio e, portanto, a capacidade de degradação biológica.

No Quadro 2 apresentam-se os resultados analíticos do percolado recolhido em cada um dos ciclos, que permite avaliar as variações na capacidade de depuração do percolado a par com a desidratação das lamas.

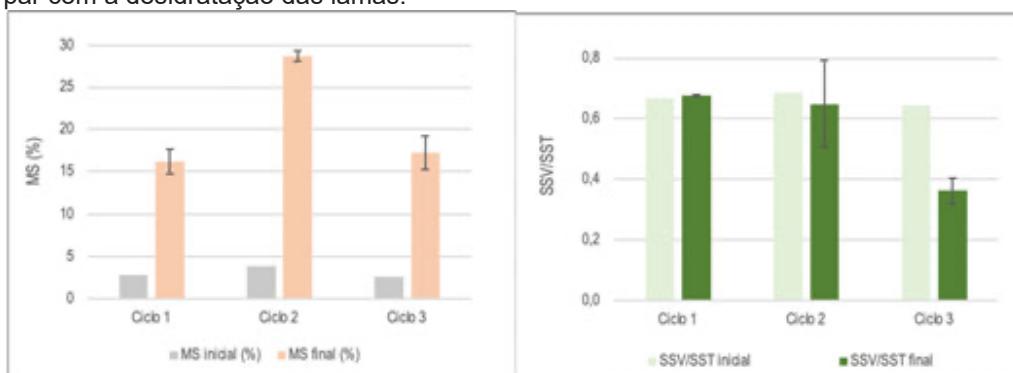


Figura 4. Teor em Matéria Seca (a) e razão SSV/SST (b) das lamas a estabilizar no início e no final de cada ciclo

Quadro 2. Resultados analíticos da composição do percolado recolhido em cada ciclo

Ciclo	Amostragem (dia do ciclo)	SST (mg/L)	NT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	*N-NO ₃ (mg/L)	PT (mg/L)	CQO (mgO ₂ /L)	CF (UFC/100mL)
1	0	76	73	n.d.	n.d.	18	120	(n.d)
2	12	<5	98	471	94	7	42	<2
3	2	7	160	697	139	6	86	75
3	15	<5	99	431	86	5	72	<2

n.d. – não disponível

O teor em SST do percolado recolhido no início do 1.º ciclo (76 mg/L) e no início do 3.º ciclo (7 mg/L), poderão ser indicadores da crescente capacidade de retenção de sólidos do leito, devido à diminuição da porosidade causada pela retenção e deposição de partículas no leito. Apesar de não se conhecer a composição do percolado no final de cada ciclo, é expectável que o mesmo não reúna condições para a sua descarga direta no meio recetor, devendo o mesmo ser recirculado à obra de entrada da ETAR.

As colheitas no segundo e 15º dia do terceiro ciclo, evidenciaram a capacidade do sistema na redução da concentração em CF, em nutrientes azotados (NT, NO₃⁻) e na CQO. Ao contrário, o teor em SST e PT, apresentaram valores reduzidos logo no início do ciclo sem alterações significativas na segunda amostragem realizada. Os mecanismos de remoção poderão contribuir para justificar as diferenças de eficiência observadas relativamente aos nutrientes azotados, uma vez que na remoção dos SST predominam inicialmente fenómenos físicos (retenção, deposição), enquanto os processos biológicos de remoção de azoto (desnitrificação e absorção pelas plantas) e de mineralização da matéria orgânica são mais lentos e dependentes não só do tempo de retenção no leito, mas também da temperatura e desenvolvimento da vegetação.

Apesar das plantas terem mostrado boa adaptação às condições do ensaio-piloto, é esperado que com um maior desenvolvimento radicular a sua capacidade de evapotranspiração aumente e assim, também aumente a taxa de desidratação das lamas.

Uma das principais condicionantes para a implementação das RB na ETAR de Vila do Porto é a disponibilidade de área de implantação, sendo necessário otimizar a operação do sistema, através de um período de arranque que permita o franco enraizamento e desenvolvimento das plantas, optimização da frequência de carregamento e simultaneamente do dimensionamento das *Reed Beds*, em função da exposição solar e da área disponível para a implementação do sistema.

4 Conclusões

Durante os 3 meses de duração do ensaio as *Reed Beds* foram alimentadas com três cargas de lamas (3-4% MS) num total de 16 kg MS/m², e obtiveram-se resultados muito promissoras para a desidratação das lamas com MS a variar entre 29% e 16%.

A *Typha domingensis* é uma das espécies recomendadas para utilizar em *Reed Beds*, sendo a ilha de Santa Maria, a única ilha dos Açores onde esta espécie existe, adaptou-se bem às condições do ensaio.

A análise do percolado mostrou elevada concentração em nitrato o que mostra a pertinência da gestão deste fluxo, aquando da sua recirculação para o tanque de arejamento.

Autorizações e Direitos de Autor

A Câmara Municipal de Vila do Porto autorizou a divulgação dos resultados.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Câmara Municipal de Vila do Porto pelo financiamento do controlo analítico do ensaio experimental, como também pelo empenho e dedicação dos assistentes operacionais na construção e operação do ensaio experimental.

Referências

- Brix, H. (2017). Sludge dewatering and mineralization in sludge treatment reed beds. *Water*, 9(3), 160. doi.org/10.3390/w9030160.
- Bui, J. J. (2019). Dewatering and mineralization of sludge in vertical flow constructed wetlands: a review. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 495, No. 1, p. 012. doi:10.1088/1757-899X/495/1/012069.
- Matos R.V., Ferreira F., Saldanha J.S. (2023). Guia Técnico Sistemas de Saneamento para Pequenos Aglomerados Populacionais. Entidade Reguladora de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA).
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. Mc Graw-Hill, New York.
- Nielsen, S. (2005). Sludge Treatment in Reed Bed Systems and Recycling of Sludge and Environmental Impact. In 10th European Biosolids and Biowaste Conference.
- Pandey, M. K., Jenssen, P. D. (2015). Reed beds for sludge dewatering and stabilization. *Journal of Environmental Protection*, 6(04), 341. doi.org/10.4236/jep.2015.64034.
- PGRH (2022). Plano de Gestão Hidrográfica dos Açores, 2022-2027. Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas.
- Raposo, V. B., Silva, L., Quadros, S. (2022). Azorean Vascular Plants with Potential Use in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow. *Sustainability*, 14(22), 14681. doi.org/10.3390/su142214681.
- Tan, Y. Y., Huong, Y. Z., Tang, F. E., Saptoro, A. (2023). A review of sewage sludge dewatering and stabilisation in reed bed system: towards the process-based modelling. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24. doi.org/10.1007/s13762-023-05063-9.
- Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., García, J. (2010). Sludge treatment wetlands: a review on the state of the art. *Bioresource technology*, 101(9), 2905 2912. doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102.