

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL TÉCNICO PARA SECAGEM DE LAMAS PROVENIENTES DE ETAR
NAS REGIÕES DO ALENTEJO, ALGARVE E ANDALUZIA****João P. Cardoso***, **Victor Mantilla***, **Gonzalo Lobo****, **António Martins*****

* Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, Portugal,
joao.cardoso@lneg.pt

**Fundación Pública Andaluza Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua t o Autovía Sevilla-Huelva (A-49), km
28 - 41820 – Carrión de los Céspedes (Sevilla), España, glmar@centa.es

***Direção de Exploração - Saneamento, Águas do Algarve, S.A. Rua do Repouso 10, Faro, 8000-302 Faro,
Portugal, antonio.m.martins@adp.pt

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.4145>

RESUMO

Os processos de depuração de águas residuais urbanas produzem lamas com um conteúdo elevado de humidade que aumenta os custos associados à sua disposição final. A secagem de lamas de depuração tem um valor económico e ecológico, permitindo a redução da massa de material a processar e a consequente redução de custos e emissões carbónicas associadas ao processo de tratamento e deposição final. Este trabalho apresenta uma estimativa do potencial da utilização de energia solar térmica na secagem de lamas produzidas por estações de tratamento de águas residuais localizadas nas regiões do Alentejo e Algarve, em Portugal, e Andaluzia em Espanha, utilizando informação meteorológica pública. A secagem solar de lamas de depuração é viável nas três regiões, estimando-se um potencial anual em termos de massa húmida de lama seca por unidade de área de abertura do campo solar entre 895 kg/m² a 1 062 kg/m² no Algarve, 913 kg/m² a 1 010 kg/m² no Alentejo e 934 kg/m² a 1 045 kg/m² na Andaluzia.

PALAVRAS-CHAVE: Calor solar para processos industriais; Secagem solar; tratamento de águas residuais.

ABSTRACT

Urban waste-water treatment processes produce sludges with high humidity content which increases the costs associated with their final disposition. The drying of waste-water sludges has an economic and ecologic value, enabling the reduction of mass of material to process and the consequent reduction of costs and carbon emissions with the process of final treatment and deposition. This work presents an estimation of the potential for utilization of solar thermal energy to dry sludges produced by urban waste-water treatment plants in the regions of Alentejo and Algarve, in Portugal, and Andaluzia in Spain, using publicly available meteorological data. The solar drying of waste-water sludge is feasible in all three areas, having a technical potential in terms of annual mass of sludge dried per collector aperture unit area between 895 kg/m² to 1 062 kg/m² in Algarve, 913 kg/m² to 1 010 kg/m² in Alentejo and 934 kg/m² to 1 045 kg/m² in Andaluzia.

KEYWORDS: Solar heat for industrial processes; Solar drying; Waste-water treatment.

INTRODUÇÃO

Acompanhando o crescente foco no desenvolvimento de estratégias de gestão de produtos que apliquem o conceito de economia circular, o processamento de efluentes em estações de tratamento de águas residuais (ETAR) deixou de ser entendido apenas como uma forma de tratamento com vista à redução da carga poluente e à disposição final de águas contaminadas, para ser considerado como uma oportunidade de gerar produtos de valor acrescentado, recuperando nutrientes ou produzindo energia eléctrica ou térmica, a par do tratamento da água para futura reutilização (Liu et al., 2020).

Os processos de tratamento de águas residuais resultam na produção de lamas de depuração (correspondentes ao código da Lista Europeia de Resíduos, LER 19 08 05) cujo processamento representa um dos principais desafios na gestão de águas residuais (Fytili e Zabaniotou, 2008). Estas lamas podem ser valorizadas em solos agrícolas sob a forma de composto (Singh and Agrawal, 2008) ou como fonte de energia, através da produção de biodiesel ou biogás, incineração, pirólise ou gasificação (Liu et al., 2020). Podem ainda ter como destino final a deposição em aterro sanitário, caso não seja possível efectuar a sua valorização.

As lamas de depuração apresentam uma elevada quantidade de água (Fytili e Zabaniotou, 2008) pelo que em todos os métodos de valorização ou disposição final a secagem adicional das lamas é uma necessidade (Bennamoun, 2012 e Liu et al., 2020). De acordo com Chai (2007) e Bennamoun (2012): a secagem reduz o teor de água e consequentemente a massa e volume de lama, reduzindo custos no transporte, operação e armazenamento e consequentemente a pegada de carbono, pela diminuição do consumo de gasóleo (menos transportes necessários); adicionalmente, a secagem reduz os microrganismos patogénicos e estabiliza as lamas; finalmente, a remoção da água aumenta o poder calorífico das lamas e permite a sua utilização como fonte de combustível. Desta forma, a secagem das lamas de depuração assume interesse económico e ecológico, permitindo a sua valorização, a redução da massa de material a tratar e a consequente redução de custos com o processo de valorização ou deposição e tratamento final.

A secagem de lamas provenientes de ETAR representa um processo energeticamente intensivo, na medida em que requer a evaporação da grande quantidade de água contida nestes resíduos. Bennamoun et al. (2013) agrupa os métodos actualmente utilizados na secagem de lamas de depuração em três classes: secagem convectiva – baseada no contacto directo de um gás quente com a lama; secagem condutiva – baseada no aquecimento da superfície do secador em contacto com a lama; secagem solar – baseada no aquecimento das lamas por irradiação solar.

Tipicamente, a energia para os processos de secagem convectiva e condutiva provém da queima de combustível em caldeiras, podendo estas operar em sistemas de aquecimento ou de co-geração (Tanczuk et al., 2016). Note-se que o calor rejeitado por outros processos existentes na ETAR também pode ser aproveitado para alimentar estes processos (Tanczuk et al., 2016 e Di Fraia et al., 2019), embora tal seja menos frequente. Ao longo dos últimos anos a integração de fontes de energia renovável nos processos de secagem convectiva e condutiva de lamas de depuração tem sido proposta como uma alternativa à queima de combustíveis fósseis, incluindo a utilização de energia geotérmica (Di Fraia et al., 2019), solar térmica ou uma combinação entre diversas fontes de energia como no sistema híbrido apresentado por Di Fraia et al. (2018).

Tradicionalmente os processos de secagem de lamas de depuração com energia solar utilizavam sistemas solares abertos, onde as lamas eram dispostas em leitos ao ar livre, ficando expostas à radiação solar (Di Fraia et al. 2019) e à evaporação convectiva por exposição ao ar. De acordo com Di Fraia et al. (2019) os sistemas abertos foram preteridos por sistemas de secagem em estufa que permitem alcançar um processo de secagem mais eficaz. O processo de secagem em estufa pode ser melhorado através da utilização de sistemas de circulação controlada do ar ou do aquecimento activo da estufa e respectivas lamas, podendo este ser alimentado por energias renováveis como a energia solar térmica (Bennamoun, 2012; Di Fraia et al., 2018). Outra possibilidade é a utilização de secadores solares de irradiação directa ou indirecta (Ameri et al., 2018).

O abundante recurso solar existente na Península Ibérica poderá ser aproveitado para alimentar processos térmicos como a secagem, nomeadamente no âmbito dos processos de tratamento de águas residuais, sendo actualmente bastante subaproveitado. Para além do aumento da incorporação de fontes renováveis no sistema energético, contribuindo para a sua descarbonização e sustentabilidade, a inserção das tecnologias solares também permite aumentar a segurança energética ao utilizar um recurso energético renovável endógeno.

Pelo acima exposto, considerando as mais valias técnicas e económicas da secagem das lamas de depuração bem como as mais valias decorrentes da utilização de energia solar térmica, afigura-se de interesse o estudo da viabilidade da utilização de energia solar térmica na secagem de lamas provenientes de ETAR. Em particular, é relevante o estudo da aplicação de energia solar térmica a sistemas de secagem convectiva, uma aplicação menos estudada e que tem a capacidade de processar lamas em continuo e de forma mais rápida do que os sistemas de secagem em estufa.

Como primeiro passo desse estudo, este trabalho apresenta uma estimativa inicial do potencial para a utilização de energia solar térmica na secagem de lamas de depuração provenientes de ETAR nas regiões do Alentejo e Algarve, em Portugal, e Andaluzia em Espanha. Para tal, são identificadas as zonas de interesse, correspondente

LOCALIZAÇÕES EM ESTUDO

O potencial de utilização de energia solar térmica num determinado processo depende não só das características intrínsecas ao processo e ao método de captura e conversão da radiação como da localização geográfica da instalação, uma vez que desta dependerá o recurso solar disponível. Neste trabalho o foco incide nas duas regiões Sul de Portugal (Alentejo e Algarve) e na região da Andaluzia em Espanha.

Alentejo

No que respeita à região do Alentejo, considerou-se as principais estações de tratamento de águas residuais dos distritos de Setúbal, Évora e Beja:

1. ETAR de Montemor-o-Novo no Distrito de Évora;
2. ETAR de Vendas Novas no Distrito de Évora;
3. ETAR de Alcácer do Sal no Distrito de Setúbal;
4. ETAR de Viana do Alentejo no Distrito de Évora;
5. ETAR do Alvito no Distrito de Beja;
6. ETAR de Grândola no Distrito de Setúbal;
7. ETAR de Santiago do Cacém no Distrito de Setúbal;
8. ETAR de Serpa no Distrito de Beja;
9. ETAR de Moura no Distrito de Beja;
10. ETAR da Vidigueira no Distrito de Beja;
11. ETAR de Beja capital no Distrito de Beja;
12. ETAR de Aljustrel no Distrito de Beja;
13. ETAR de Castro Verde no Distrito de Beja;
14. ETAR de Mértola no Distrito de Beja;
15. ETAR de Almodôvar no Distrito de Beja;
16. ETAR de Odemira no Distrito de Beja;
17. ETAR de Ourique no Distrito de Beja;
18. ETAR de Ribeira de Moinhos, Sines, no Distrito de Setúbal;
19. ETAR de Évora no Distrito de Évora.

Algarve

Na região do Algarve, o tratamento de águas residuais está a cargo da empresa Águas do Algarve, S.A. (AdA). Para os fins deste trabalho consideraram-se como zonas de interesse as localizações das principais estações de tratamento de águas residuais operadas pela AdA:

1. ETAR da Boa Vista, localizada na freguesia do Carvoeiro, concelho de Lagoa;
2. ETAR de Albufeira Poente, localizada na freguesia da Guia, concelho de Albufeira;
3. ETAR de Almargem, localizada na freguesia de Cabanas de Tavira, concelho de Tavira;
4. ETAR de Companheira, localizada na freguesia de Companheira, concelho de Portimão;
5. ETAR de Faro Noroeste, localizada na freguesia de Montenegro no concelho de Faro;
6. ETAR de Lagos, localizada na freguesia de São Sebastião, concelho de Lagos;
7. ETAR de Olhão Nascente, localizada na freguesia de Quelfes, concelho de Olhão;
8. ETAR de Faro, localizada na freguesia, concelho de Albufeira;
9. ETAR de Vila Real do Santo António, localizada no sítio da Carrasqueira na freguesia e concelho de Vila Real de Santo António;
10. ETAR de Vilamoura, localizada na freguesia de Quarteira, concelho de Loulé.

Andaluzia

Na região da Andaluzia, o tratamento de águas residuais pode ser efectuado ao nível dos municípios, conselhos provinciais ou entidades supramunicipais. Não foi possível determinar a localização das principais ETARs andaluzas pelo que o estudo do potencial foi feito em termos de províncias.

ESTIMATIVA DO POTENCIAL PARA SECAGEM DE LAMAS COM ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Irradiância Solar

A primeira análise a realizar aquando da avaliação do potencial de utilização de sistemas solares numa determinada zona geográfica consiste em avaliar as condições meteorológicas desse local, nomeadamente as condições de irradiância solar. Idealmente utilizar-se-iam séries de dados plurianuais medidos no local em análise. No entanto, geralmente essa informação é inexistente, recorrendo-se a valores obtidos a partir de observações de satélites meteorológicos e/ou da interpolação de informação obtida em estações meteorológicas vizinhas.

Para as regiões do Alentejo e do Algarve, o presente trabalho considera estimativas mensais para o valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal para as localizações das principais estações de tratamento de águas residuais. Esta informação foi obtida a partir de um ano meteorológico de referência desenvolvido no âmbito do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto Lei nº 79/2006) com a metodologia descrita em (Aguiar, 2004).

Para a Andaluzia foram tidos em consideração valores baseados em dados de satélite apresentados pela Agência Estatal de Meteorologia (AEMET, 2012) e os dados disponibilizados pela Agência de Energia Andaluza (AAE, 2018).

Os valores de irradiância solar assim obtidos foram comparados com valores provenientes de outras fontes, nomeadamente o *software Meteonorm v7.1* e o *Global Solar Atlas* (Solargis, 2018). As diferenças encontradas são compatíveis com os intervalos de incerteza e variabilidade típica observada neste tipo de informação (~10%). Face a esta variabilidade optou-se por apresentar as estimativas para o valor médio anual sob a forma de intervalo por forma a abranger os diferentes valores obtidos a partir várias fontes de dados consideradas.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as estimativas anuais de irradiância global no plano horizontal (GHI) e directa no plano normal (DNI) para as regiões em estudo.

Tabela 1. Intervalos de irradiância considerados nas localizações em estudo da região do Alentejo.

ETAR	GHI	DNI
	kWh/m ² ano	
Alcácer do Sal	1 700 - 1 737	1 914 - 1 927
Aljustrel	1 717 - 1 778	1 924 - 1 991
Almodôvar	1 712 - 1 803	1 896 - 2 045
Alvito	1 715 - 1 756	1 936 - 1 987
Beja	1 725 - 1 790	1 943 - 2 017
Castro Verde	1 719 - 1 785	1 921 - 2 033
Évora	1 708 - 1 756	1 919 - 2 011
Grândola	1 695 - 1 758	1 895 - 1 965
Mértola	1 730 - 1 793	1 926 - 2 008
Montemor-o-Novo	1 702 - 1 723	1 924 - 1 932
Moura	1 738 - 1 780	1 955 - 2 022
Odemira	1 672 - 1 776	1 848 - 1 938
Ourique	1 705 - 1 782	1 908 - 1 993
Ribeira de Moinhos	1 676 - 1 788	1 862 - 1 972
Santiago do Cacém	1 686 - 1 759	1 867 - 1 951
Serpa	1 731 - 1 783	1 938 - 2 017
Vendas novas	1 689 - 1 716	1 900 - 1 914
Viana do Alentejo	1 712 - 1 756	1 943 - 1 996
Vidigueira	1 726 - 1 773	1 951 - 2 020

Tabela 2. Intervalos de irradiância considerados nas localizações em estudo da região do Algarve.

ETAR	GHI	DNI
	kWh/(m ² ano)	
Albufeira	1 699 - 1 710	1 874 - 2 116
Almargem	1 741 - 1 850	1 925 - 2 099
Boa Vista	1 686 - 1 722	1 856 - 2 151
Companheira	1 680 - 1 843	1 843 - 2 067
Faro	1 699 - 1 710	1 874 - 2 116
Faro Noroeste	1 722 - 1 728	1 918 - 2 116
Lagos	1 669 - 1 836	1 812 - 2 045
Olhão Nascente	1 737 - 1 861	1 909 - 2 102
Vilamoura	1 724 - 1 840	1 888 - 2 100
Vila Real de Santo António	1 741 - 1 850	1 925 - 2 099

Tabela 3. Intervalos de irradiância considerados para as províncias da Andaluzia.

Província	GHI	DNI
	kWh/m ² ano	
Almeria	1 832 - 1 873	2 003 - 2 077
Cádiz	1 832 - 1 868	1 971 - 2 055
Córdoba	1 781 - 1 817	1 894 - 2 057
Granada	1 792 - 1 878	1 898 - 2 117
Huelva	1 850 - 1 860	2 080 - 2 115
Jaén	1 770 - 1 832	1 854 - 2 052
Málaga	1 799 - 1 846	1 891 - 2 005
Sevilla	1 817 - 1 840	1 989 - 2 081

Como esperado para as três regiões, tanto os valores anuais estimados de GHI como de DNI indicam a existência de uma significativa quantidade de recurso solar disponível para a utilização de sistemas solares térmicos com recurso tanto a tecnologias não concentradoras como a tecnologias concentradoras. Verifica-se ainda que os dados para as regiões Portuguesas apresentam intervalos maiores, o que indicia a existência de uma maior incerteza nesses valores e sinaliza a necessidade de um melhor mapeamento do recurso solar.

Necessidade de Energia do Processo de Secagem

A estimativa do potencial técnico de utilização de energia solar térmica nos processos de secagem de lamas requer, para além da estimativa da quantidade de energia solar disponível para alimentar os sistemas de secagem solar (que permite aferir o potencial em termos da disponibilidade da fonte de energia) a estimativa das necessidades de energia do processo de secagem.

A estimativa das necessidades de energia de um secador convectivo para secar um quilograma de lama em base húmida, q_{sec} , é efectuada a partir de uma avaliação simplificada das necessidades de energia do processo de secagem de acordo com a equação (Kemp, 2012):

$$q_{sec} = \frac{(T_{ar,e} - T_{amb})}{(T_{ar,e} - T_{ar,s})} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + c_p^h (T_{op} - T_e)] \quad (1)$$

onde $T_{ar,e}$ representa a temperatura do ar quente à entrada do secador, $T_{ar,s}$ a temperatura do ar à saída do secador, T_{amb} a temperatura do ar ambiente, x_h e x_s representam respectivamente a fração de humidade em base húmida do material por secar e do material após a secagem, λ_{H_2O} o calor latente de evaporação da água, c_p^h o calor específico do material por secar, T_{op} a temperatura de operação do interior do secador – utilizada como estimativa da temperatura atingida pelo material a secar – e T_e a temperatura de entrada do material a secar.

Para a definição da temperatura mínima do ar à saída do secador considera-se que esta tem de ser superior ao ponto de orvalho em 25 °C para limitar a dimensão do secador e evitar condensação (Kemp, 2012). Considerou-se uma temperatura e humidade relativa ambiente média durante o período de operação de 20 °C e 50%, respectivamente, assumindo-se que a temperatura de entrada do material a secar é igual à temperatura ambiente. Num processo de secagem de lamas em secador convectivo as temperaturas de operação podem variar entre 100 a 200 °C, tendo-se considerado nesta estimativa uma temperatura de operação de 150 °C.

Como referido na introdução, as lamas de ETAR são caracterizadas por um elevado teor de humidade. Nesta estimativa considerou-se uma fracção de humidade em base húmida das lamas por secar de 80% (valor típico obtido nas ETARs da região do Algarve). Para as lamas secas considerou-se uma fracção de 5%, dado que para fracções acima deste valor as lamas não podem ser armazenadas devido à possibilidade de crescimento de microrganismos e autocombustão.

Considerando a Eq. 1 e as condições descritas, obtém-se um valor para as necessidades de energia do processo de secagem de 3 645 kJ/kg (base húmida). Note-se que este valor assume a utilização de um secador bem isolado (perdas de energia pelas paredes não significativas) e não considera a energia necessária para a quebra da ligação entre a água e o substracto, que em geral é bastante inferior ao calor latente de evaporação e ao calor sensível para aquecimento das lamas.

Estimativa do Potencial de Secagem

Definiu-se o potencial de secagem com recurso da energia solar térmica em termos da massa de lamas húmidas que pode ser seca anualmente por metro quadrado de área de abertura do sistema de captação solar:

$$m_{pot}^{sol} = \frac{q_{sol}}{q_{sec}} \quad (2)$$

onde q_{sol} representa a energia solar disponível para o processo de secagem por unidade de área de captação e q_{sec} a energia específica necessária para secar um quilograma de lama.

A energia solar disponível para o processo de secagem, q_{sol} , corresponde à energia captada pelo coletor e transferida para o fluido de trabalho. Para a presente estimativa considera-se que esta depende da irradiância anual, G , e do rendimento anual do coletor, η , de acordo com:

$$q_{sol} = \eta G \quad (3)$$

O rendimento anual médio do colector solar depende fortemente do colector utilizado, das condições de instalação e das condições de operação. Para os fins deste trabalho, atendendo à temperatura de operação do secador de 150 °C, considera-se a utilização de um colector concentrador com um rendimento anual médio de 50%.

As tabelas 4 a 6 apresentam uma estimativa do potencial técnico da utilização de energia solar térmica para secagem de lamas de ETAR.

Tabela 4 – Estimativa da massa de lamas em base húmida passíveis de secagem ao longo do ano por metro quadrado de área de abertura do campo solar para as localizações de ETARs da região do Alentejo.

ETAR	m_{pot}^{sol} [kg/(m ² ano)]
Alcácer do Sal	945 – 952
Aljustrel	950 – 983
Almodôvar	936 – 1010
Alvito	956 – 981
Beja	960 – 996
Castro Verde	949 – 1004
Évora	948 – 993
Grândola	936 – 970
Mértola	951 – 992
Montemor-o-Novo	950 – 954
Moura	966 – 999
Odemira	913 – 957
Ourique	942 – 984
Ribeira de Moinhos	920 – 974
Santiago do Cacém	922 – 964
Serpa	957 – 996
Vendas novas	938 – 945
Viana do Alentejo	960 – 986
Vidigueira	964 – 998

Tabela 5 – Estimativa da massa de lamas em base húmida passíveis de secagem ao longo do ano por metro quadrado de área de abertura do campo solar para as localizações de ETARs da região do Algarve.

ETAR	m_{pot}^{sol} [kg/(m ² ano)]
Albufeira	926 – 1045
Almargem	951 – 1037
Boa Vista	917 – 1062
Companheira	910 – 1021
Faro	926 – 1045
Faro Noroeste	947 – 1045
Lagos	895 – 1010
Olhão Nascente	943 – 1038
Vilamoura	932 – 1037
Vila Real de Santo António	951 – 1037

Tabela 6 – Estimativa da massa de lamas em base húmida passíveis de secagem ao longo do ano por metro quadrado de área de abertura do campo solar para as localizações de ETARs da região do Algarve.

ETAR	m_{pot}^{sol} [kg/(m ² ano)]
Almeria	989 – 1026
Cádiz	973 – 1015
Córdoba	935 – 1016
Granada	937 – 1045
Huelva	1027 – 1045
Jaén	916 – 1013
Málaga	934 – 990
Sevilla	982 - 1028

CONCLUSÕES

A secagem de lamas provenientes dos processos de tratamento de águas residuais é processo com valor económico e ambiental, permitindo a valorização das lamas e a redução de custos e emissões carbónicas associadas ao seu tratamento final e deposição.

Foi efectuada uma estimativa inicial do potencial de secagem de lamas com energia solar térmica em secadores convectivos, tendo-se concluído que esta aplicação é viável tecnicamente nas três regiões analisadas: Alentejo, Algarve e Andaluzia. Um secador convectivo alimentado a energia solar térmica localizado junto a uma ETAR no Alentejo deverá ser capaz de secar anualmente entre 913 a 1 010 kg de lama em base húmida por metro quadrado de área de abertura do campo solar. Para as ETARs Algarvias o mesmo secador deverá ser capaz de secar anualmente entre 895 a 1 062 kg de lama em base húmida por metro quadrado de área de abertura do campo solar. Na região da Andaluzia esse valor deverá situar-se entre os 934 e os 1 045 kg.

Esta estimativa baseou-se em informação radiométrica disponível publicamente e em informação geral sobre as características das lamas e do processo de secagem em secadores convectivos. Futuramente prevê-se efectuar uma revisão destas estimativas utilizando dados de temperatura e humidade anuais diferenciados para as várias localizações e considerando perdas térmicas no secador. Trabalhos futuros deverão também aplicar uma análise de sensibilidade aos parâmetros utilizados.

AGRADECIMENTOS

Trabalho desenvolvido no âmbito do Projecto SECASOL (0029_SECASOL_5_E) co-financiado pelo Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha-Portugal INTERREG V-A (POCTEP) 2014-2020.

Este trabalho integra-se nas Actividades do Projecto de Infraestruturas “INIESC - Infraestrutura Nacional de Investigação em Energia Solar de Concentração” (ALT20-03-0145-FEDER-022113) com financiamento por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC) e co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) do Programa Operacional Regional do Alentejo e do Programa Operacional Regional de Lisboa.

REFERÊNCIAS

Agencia Andaluza de la Energía (2018). Radiación Solar. URL: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php> [Acedido a 20 de Novembro de 2018].

Aguiar, R., 2004. Procedimentos de Construção de Anos Meteorológicos Representativos para o RSECE. Lisboa.

Ávila, J., Martín, J., Alonso, J., Escuin, M., Cadalso, J., Bartolomé, M., 2012. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. AEMET, Madrid.

Ameri, B., Hanini, S., Benhamou, A., Chibane, D. (2018). Comparative approach to the performance of direct and indirect solar drying of sludge from sewage plants, experimental and theoretical evaluation. *Solar Energy*, 159, 722-732.

Bennamoun L. (2012) Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1061-1073.

Bennamoun, L., Arlabosse, P., Léonard, A. (2013). Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 29-43.

Chai, L.H. (2007). Statistical dynamic features of sludge drying systems. *International Journal of Thermal Sciences*, 46(8), 802-811.

Di Fraia, S., Figaj, R., Massarotti, N., Vanoli, L. (2018). An integrated system for sewage sludge drying through solar energy and a combined heat and power unit fuelled by biogas. *Energy Conversion and Management*, 171, 587-603.

Di Fraia, S., Macaluso, A., Massarotti, N., Vanoli, L. (2019). Energy, exergy and economic analysis of a novel geothermal energy system for wastewater and sludge treatment. *Energy Conversion and Management*, 195, 533-547.

Fytili, D., Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116-140.

Kemp, I. (2012) *Fundamentals of Energy Analysis of Dryers*. Em Tsotsas, E., Mujumdar, A. S. (Eds.) *Modern Drying Technology*, Volume 4. Wiley-VCH

Liu, Z., Mayer, B.K., Venkiteshwaran, K., Seyedi, S., Raju, A.S.K., Zitomer, D., McNamara, P.J. (2020). The state of technologies and research for energy recovery from municipal wastewater sludge and biosolids. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 14, 31-36.

Singh, R.P., Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28(2), 347-358.

Solargis s.r.o. on behalf of the World Bank Group (2018). *Global Solar Atlas*. URL: <https://globalsolaratlas.info> [Acedido a 20 de Novembro de 2018]

Tańczuk, M., Kostowski, W., Karaś, M. (2016). Applying waste heat recovery system in a sewage sludge dryer – A technical and economic optimization. *Energy Conversion and Management*, 125, 121-132.