

POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSOS DE SECAGEM DE RESÍDUOS

David Loureiro(1), Miguel Miranda(1), António Martins(2), Sandra Viegas(2), Hugo Rodrigues(3), Gonzalo Lobo(4), Elisabet Gonzalez Prieto(5), Silvia Pérez Galan(5), Ivo Dias(6), Juan Orta Mendez(7), Manuel B. Acevedo Perez(7), Victor Mantilla(1)

- (1)Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada Paço do Lumiar 22, Lisboa, david.loureiro@lneg.pt
(2)Águas do Algarve SA- DES, Rua do Repouso 10, 8000-302 Faro, antonio.m.martins@adp.pt
(3)AREAL Energia, Est. Albufeira, Ed. Cena, Vilamoura, 8125-300 Quarteira, hrodrigues@areal-energia.pt
(4)CENTA, Autovía Sevilla-Huelva (A-49), km 28,41820 Carrión de los Céspedes, glmar@centa.es
(5)CESPA- FERROVIAL P. Zona Franca 111, Torre Auditori, 08038 Barcelona, e.gonzalez@ferrovial.com
(6)GESAMB, Aterro Intermunicipal, EN 380, Km 89,9, N.Sª Tourega, 7000-093 Évora ivodias@gesamb.pt
(7)Diputación de Huelva – |Secasol| Avda. Martin Alonso Pinzón 9, Huelva, Espanha jaorta@diphuelva.org

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2066>

RESUMO

A consciencialização dos problemas resultantes das atividades económicas relacionadas com a gestão de resíduos nas regiões transfronteiriças da Andaluzia-Algarve-Alentejo (AAA), conduziu ao desenvolvimento do projeto SECASOL.

Este projeto de cooperação visa a integração de energia solar térmica de concentração (ESTC) nos processos de secagem de lamas de depuração de águas residuais (ETAR) e de resíduos sólidos urbanos (RSU). Foi avaliada a integração da energia solar de concentração em processos de secagem, através da identificação das principais soluções técnicas e tipologias de secagem de resíduos e caracterização dos processos tecnológicos com influência nos requisitos de valorização do produto final. Através da estimativa dos valores anuais para GHI e DNI nas principais instalações de tratamento de RSU e águas residuais do Algarve e Andaluzia, utilizou-se um modelo simplificado para estimativa do potencial de utilização da energia solar em dois processos de secagem de interesse – materiais CDR de RSU e lamas de depuração de ETAR- em termos de quantidade de matéria processada por unidade de área de captação de energia solar.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem de resíduos, Secagem de lamas, Energia solar térmica de concentração

ABSTRACT

Awareness of the problems resulting from economic activities related to waste management in the cross-border regions of Andalusia-Algarve-Alentejo (AAA) led to the development of the SECASOL project. This AAA cooperation project pointing to the integration of concentration solar thermal (CST) in the sludge drying processes for wastewater treatment (WWT) and RDF of solid urban waste (MSW). CST integration in the drying processes was evaluated through the identification of the main technical solutions and types of waste drying and related technological processes on the requirements for by-product valorization. Acknowledgment of the annual values for GHI and DNI at the main MSW and WWT facilities in the Algarve and Andalusia region's had led to a simplified model used to estimate the potential use of solar energy in two drying processes of interest – RDF materials from MSW and sewage sludge from WWT - in terms of the amount of processed product per unit of solar energy capture area.

KEYWORDS: Sludge drying, Waste drying, Concentration Solar Thermal

INTRODUÇÃO

O projeto SECASOL tem o apoio do programa INTERREG-POCTEP e visa a promoção de tecnologias inovadoras para melhorar a eficiência do processo de secagem de lamas de águas residuais e secagem de resíduos sólidos urbanos através da utilização de tecnologias solares térmicas de concentração (ESTC), na região transfronteiriça entre Portugal e Espanha da Andaluzia-Algarve-Alentejo (AAA). Prevê-se que o projeto SECASOL possa ter um impacto muito positivo nas regiões AAA, onde o enquadramento energético, as condicionantes geográficas e as concentrações massivas de resíduos em áreas urbanas são coincidentes em muitos aspectos, assim como os meios atuais de secagem e a abundância de recurso de energia solar. O presente trabalho tem como propósito apresentar os resultados da estimativa do potencial de utilização de energia solar térmica nos processos de secagem de depuração de águas residuais e de tratamento de resíduos sólidos, avaliados para as regiões AAA, no âmbito do relatório PP1 do projeto SECASOL (Mantilla et al., 2018).

A produção de grandes quantidades de lamas de depuração provenientes de águas residuais, de resíduos sólidos urbanos e de lixiviados de aterros sanitários ou a produção de materiais CDR em alternativa à deposição em aterro, são atividades coexistentes nas regiões AAA através de serviços municipais e operadores concessionados, cujas soluções de intensificação energética convencional tem provocando o aumento de poluição nessas áreas urbanas. Os resíduos de ETAR (lamas) e RSU (lixiviados) possuem grande heterogeneidade volumétrica e mecânica, bem como teor em humidade, sendo submetidos a diferentes processos físico-químicos e biológicos nas unidades de tratamento. Em complemento destes processos, torna-se indispensável proceder à sua secagem térmica por forma a reduzir consideravelmente o volume de processamento e reduzir custos com o posterior tratamento, deposição (aterro) e valorização energética (incineração) ou agrícola (compostagem ou substrato de solos).

A secagem de RSU ou CDR e de lamas de depuração provenientes de estações de tratamento de águas residuais (ETAR), representam processos energeticamente intensivos, na medida em que requerem a evaporação de água contida nestes resíduos sob a forma de humidade. Tradicionalmente os processos de secagem destes resíduos utilizam combustíveis fósseis, biogás produzido em aterro sanitário ou processos lentos como a bio-secagem (Velis et al., 2009). As lamas provenientes de sistemas de tratamento de águas residuais são compostas por um conjunto de matéria orgânica e inorgânica cujo teor em água pode chegar a 99% (Werther and Ogada, 1999). Embora as lamas representem apenas 1 a 3% do volume de água residual tratada, a sua gestão é muito complexa, representando um custo variável entre 20% e 60% dos custos totais de gestão da estação de tratamento de águas residuais (Andreoli et al., 2007).

A secagem solar é potencialmente uma opção vantajosa quando comparada com os sistemas de secagem convencionais, já que se pode utilizar total ou parcialmente a integração de energias renováveis, sendo esta opção particularmente interessante em países com elevada exposição solar tal como Portugal ou Espanha. A secagem térmica das lamas de depuração consiste basicamente na redução do teor de humidade por via de evaporação da água intersticial, permitindo assim reduzir o volume e a massa de lama e assegurar a sua desinfeção (sujeita a teores de matéria seca superiores a 90%). Acresce que a secagem térmica permite aumentar o poder calorífico da lama facilitando a sua aplicação em subsequentes tratamentos finais, nomeadamente em processo de oxidação térmica ou técnicas de peletização para valorização agrícola.

O processo de secagem térmica das lamas baseia-se na remoção da água através da evaporação (aumento de temperatura do sistema) sendo que, a taxa de evaporação ou a taxa de secagem dependem do teor de humidade existente da lama bem como do tipo ligação que a água apresenta com o material. Um dos elementos mais cruciais e que permite obter informações sobre o comportamento da lama durante a secagem é a variação da humidade na lama em função do tempo de secagem, conhecida como curva de secagem, permitindo verificar o número de fases e a taxa de secagem a que a lama é submetida durante o referido processo (Bennamoun, 2012; Bennamoun et al., 2013).

A evolução de secagem de lamas de depuração (ETAR) apresenta tipicamente três fases (Figura 1) e depende do tipo da matéria prima de base, da quantidade de água retida e a percentagem de água de ligação por via química e das condições e processo de secagem: na primeira fase, verifica-se uma taxa constante de secagem e corresponde à extração da água livre; a segunda, corresponde uma taxa de secagem inferior e corresponde à extração de água intersticial; uma terceira fase em que se verifica um ligeiro aumento da taxa de secagem, correspondendo à extração da água de superfície do material.

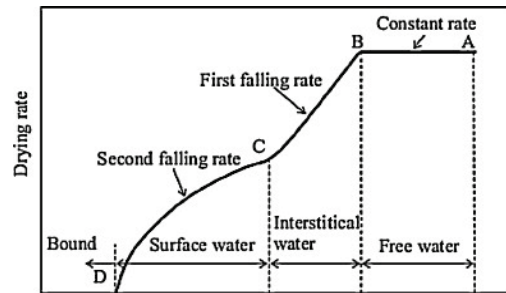


Figura 1 - Curva típica de secagem de lamas. Adaptado de (Bennamoun et al., 2013).

O destino final e diferentes soluções para aproveitamento e valorização das lamas de depuração, depende de vários fatores, muitos deles já devidamente enquadrados do ponto de vista legislativo em Portugal e Espanha, quer para uso agrícola e recuperação de solos e florestas, quer na recuperação paisagística ou na indústria da construção civil, em co-incineração e co-compostagem com RSU. Apesar de as lamas de depuração conterem nutrientes em quantidades reduzidas, estes são considerados como sendo potencialmente úteis para fertilização dos solos, no aumento da produção agrícola e melhoria de algumas propriedades físicas e químicas dos solos. A incineração é uma solução viável e utilizada em grande escala. A co-incineração das lamas na indústria cimenteira com outro tipo de resíduos é uma solução muito favorável, embora seja imperativo que estas apresentem um teor de humidade bastante reduzido (10 a 15%) e, por conseguinte, necessitam de ser submetidas a uma secagem prévia.

INTEGRAÇÃO DA ENERGIA SOLAR DE CONCENTRAÇÃO

Foram identificadas no projeto SECASOL, as principais soluções técnicas e tipologias de secagem de resíduos, tendo em consideração a eficiência dos processos tecnológicos e a influência nos requisitos de valorização do produto final. Os fatores relacionados com a intensidade energética e a disponibilidade de produto, associados a estes processos, resultam em investimentos pouco atrativos quando considerados de forma isolada. No entanto, quando combinadas com soluções com recurso a energia solar térmica de concentração (ESTC), o processo de secagem de resíduos apresenta-se como uma solução sustentável descentralizada, com elevado interesse económico e ambiental, cuja viabilidade a nível industrial está em curso de demonstração através do protótipo de secagem solar do projeto SECASOL instalado no CENTA, parceiro do projeto, em Sevilha (Mosquera,2020).

Tendo em vista a integração da ESTC e o enquadramento legal relativo às condições de exploração e de valorização dos resíduos em estudo nas regiões AAA do projeto, foram identificados os sistemas mais adequados e cujos processos de tratamento térmico operam com patamar de temperatura inferior a 100°C, onde os sistemas solares térmicos não concentradores poderão ser adequados. Para os casos em que são utilizados secadores diretos e indiretos com utilização de vapor sobreaquecido ou outro fluido de alta temperatura (HTF), as soluções tecnológicas de ESTC visam a integração de sistemas cilindro-parabólicos com produção direta de vapor (GDV) - patamar de 450°C de temperatura - ou sistemas cilindro-parabólicos e refletores lineares de Fresnel integrando um gerador de vapor (HTF-vapor). Para as situações que visam a utilização de secadores indiretos com óleo térmico como fluido de transferência, são os sistemas com coletores cilindro-parabólicos ou coletores do tipo refletores lineares de Fresnel, as tecnologias de ESTC mais adequadas (Figura 2).

A seleção da tecnologia ESTC mais adequada ao processo de secagem de resíduos, está dependente da temperatura de operação e das perdas térmicas do sistema de conversão solar e associada à estratégia de integração solar adotada no conceito do sistema ou nível de distribuição (Muster, 2015). Assim, para definição das tecnologias mais adequadas às condições operacionais do projeto térmico, deve-se tomar em consideração o nível de exigência de temperatura de processo em diferentes setores industriais assim como a gama mais adequada de temperaturas de operação das diferentes tecnologias de coletores (Lauterbach et al., 2012).

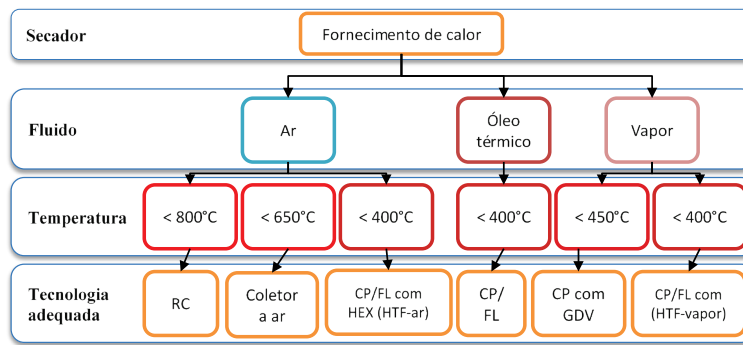


Figura 2 – Classificação dos processos de secagem de resíduos com integração de tecnologias ESTC. Adaptado de (Muster, 2015).

ESTIMATIVA DO POTENCIAL SOLAR NAS REGIÕES AAA

A avaliação da irradiância solar global (GHI), a irradiância solar difusa (DHI) e a irradiância solar direta no plano normal (DNI), são de extrema importância para o estudo do potencial de utilização de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos com baixa e elevada concentração para aplicações de calor industrial (POSHIP) de média e alta temperatura. Considerando o estado da arte atual das tecnologias de concentração solar e da sua comercialização para fins de produção de eletricidade (CSP) e de produção térmica (CST), são economicamente viáveis as tecnologias concentradoras que requerem valores de DNI iguais ou superiores a 2000 kWh/m².ano, apesar de ser tecnicamente viável a instalação e operação de centrais com valores inferiores.

A península ibérica é dos territórios europeus com maior disponibilidade de radiação solar, quer em termos de insolação, GHI e DNI. Em Portugal, por ano, recebe em média entre 2200 a 3000 horas de Sol. O valor médio de GHI na região sul de Portugal é de 1900 kWh/m².ano e o valor médio de DHI nas regiões do Algarve e do Alentejo pode variar entre 1900 até 2100 kWh/m².ano (Cavaco et al., 2016). Observando a distribuição de DNI em Portugal (Figura 3) verifica-se que as zonas mais favoráveis se encontram no Alto e Baixo Alentejo, Algarve e Beira Baixa.

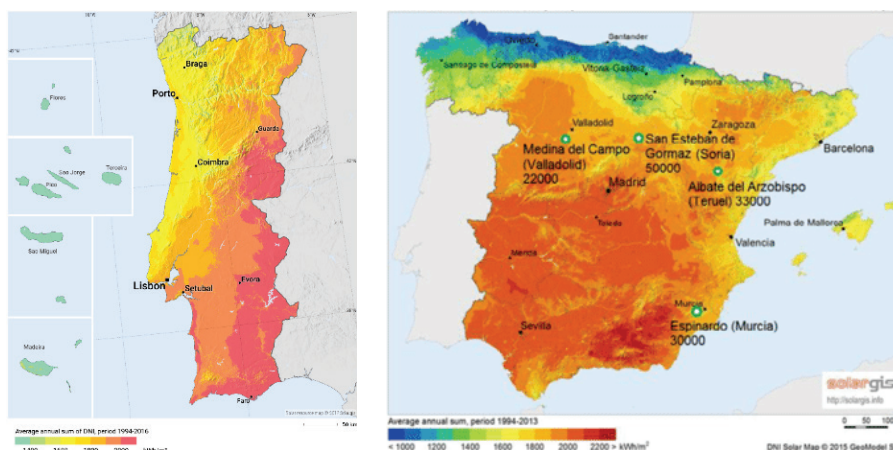


Figura 3 – Distribuição do valor médio de DNI em Portugal e em Espanha (Fonte: Solargis).

Em Espanha, verifica-se que os locais mais favoráveis com grande disponibilidade de radiação solar se encontram na região da Andaluzia, em Huelva, Sevilha, Málaga, Granada e Jaén e em alguns locais das regiões de Extremadura, Castilla la Mancha e Murcia (Figura 3). Na primavera, as províncias do sudeste continental espanhol são as que recebem maior quantidade de irradiância solar, variando para oeste à medida que vai chegando o verão, apresentando os valores mais elevados de GHI e DNI nas províncias de Huelva, Cádiz e Sevilha (Sancho Ávila et al., 2012).

Processos requerendo temperaturas inferiores a 100°C poderão ser alimentados por calor produzido por sistemas solares térmicos não concentradores. Necessidades de calor para níveis de temperatura superiores podem ser supridas adequadamente com a implementação das atuais tecnologias de concentração solar. Assim, como a prevenção de

riscos e melhoria da gestão dos recursos naturais, em regiões que apresentam semelhanças em termos das necessidades de secagem de resíduos e da disponibilidade do recurso solar, como Faro e Huelva, com valores médios anuais de GHI e DNI comparáveis entre si (figura 4).

Para Portugal não existem séries longas de medições de DNI, estando as primeiras campanhas de caracterização deste recurso no Sul do país (Alentejo) a ser realizadas pelo Instituto Português de Energia Solar (IPES). Desta forma, para avaliação da estimativa nas regiões do projeto do Alentejo e Algarve, foi seguida uma metodologia no relatório PP1 do projeto SECASOL (Mantilla et al, 2018), que considerou como estimativa, o valor diário médio de GHI, DHI e DNI, para as localizações das principais estações de tratamento mecânico e biológico e de tratamento de águas residuais para cada localidade de interesse. A média anual da DNI obtida desta forma, foi comparada com dados provenientes do *Global Solar Atlas* (GSA) providenciado pela Solargis As diferenças encontradas são compatíveis com os intervalos de incerteza e variabilidade típica observada neste tipo de informação. Face a esta variabilidade optou-se por apresentar as estimativas para o valor médio anual sob a forma de intervalo.

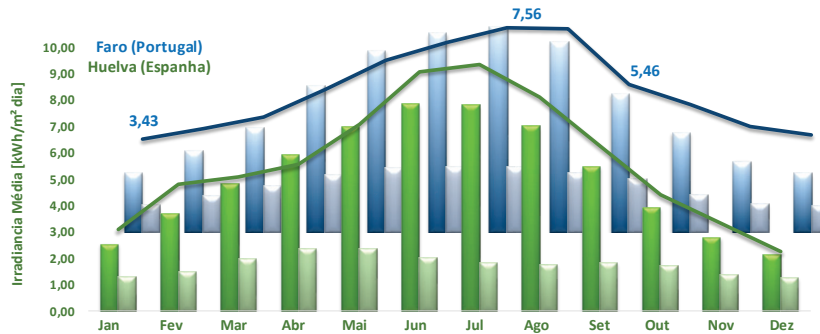


Figura. 4. Distribuição comparativa entre os valores médios anuais de GHI (barra grande), DHI (barra pequena) e DNI (linha), para Faro (Portugal) e Huelva (Espanha).

Como exemplificação da aplicação desta metodologia, apresenta-se na figura 5, o conjunto de gráficos resultantes da estimativa para o valor diário médio de GHI, DHI e DNI para as principais cidades da região do Algarve, onde se encontram localizadas as ETARs de interesse para o projeto. Como esperado existe uma maior disponibilidade do recurso solar durante os meses de verão, com um pico em julho, sendo também relevante nos meses de primavera. Nota-se que globalmente a irradiância disponível no pico do inverno é ligeiramente inferior a metade da irradiância disponível nos meses de verão. Tal indica que será possível operar o sistema de secagem durante o inverno, embora com menor capacidade de processamento de matéria a secar - sensivelmente metade da capacidade existente no verão.



Figura 5 - Estimativa para o valor diário médio de GHI (barra grande), DHI (barra pequena) e DNI (linha) na região do Algarve: a) Lagos; b) Vilamoura; c) Faro; d) Vila Real de Santo António.

Na tabela 1 apresenta-se a estimativa dos valores anuais de GHI e DNI nos locais de interesse para o projeto na região do Algarve, a partir da avaliação realizada e sua comparação com os dados da *Global Solar Atlas* (GSA). Tanto os valores anuais estimados de GHI como de DNI nesta região de Portugal, indicam que existe 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. Desta forma pode concluir-se que existe um potencial técnico

significativo para o aproveitamento térmico da energia solar na região do Algarve. Idêntica conclusão foi apurada para a região do Alentejo, cujos dados se encontram no relatório PP1 do projeto SECASOL (Mantilla et al,2018).

Tabela 1 – Estimativa dos valores anuais para a irradiância GHI e DNI nas principais instalações de tratamento de RSU e ETARs do Algarve.

	GHI		DNI	
	LNEG	GSA	LNEG	GSA
RSU				
Algar	1680	1843	1843	2067
ETAR				
Boa Vista	1686	1722	1856	2151
Companheira	1680	1843	1843	2067
Albufeira	1710	1699	1874	2116
Almargem	1741	1850	1925	2099
Faro Noroeste	1728	1722	1918	2116
Lagos	1669	1836	1812	2045
Faro	1710	1699	1874	2116
Olhão Nascente	1737	1861	1909	2102
Vilamoura	1724	1840	1888	2100
Vila Real de Santo Antonio	1741	1850	1925	2099

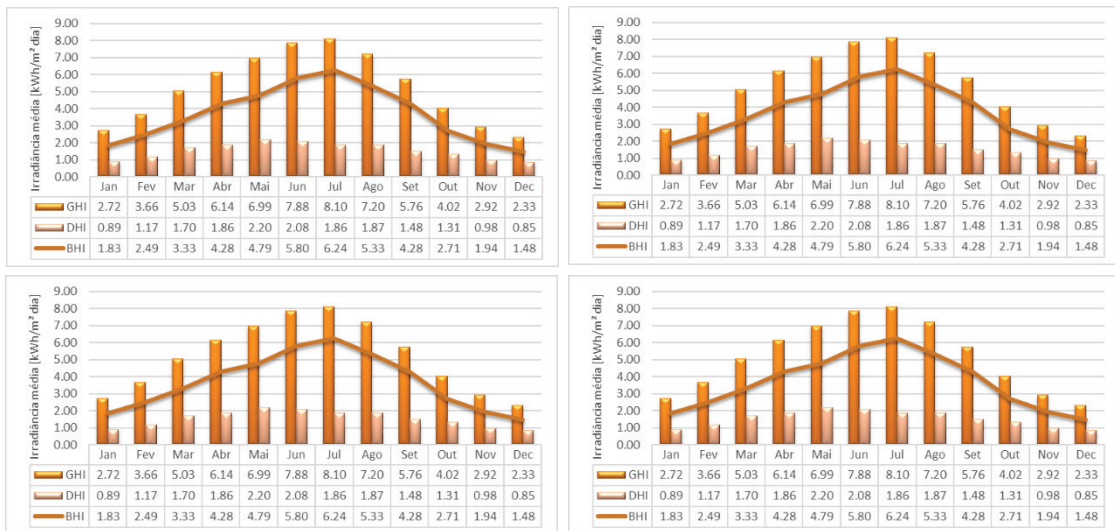


Figura 6 - Estimativa para o valor diário médio de GHI (barra grande), DHI (barra pequena) e DNI (linha) nas principais cidades da Andaluzia, em Espanha: a) Huelva; b) Sevilha; c) Granada; d) Almeria.

Para a região do projeto da Andaluzia, em Espanha, seguiu-se o critério de disponibilização de informação de irradiância de GHI e DNI para todas as cidades da região, devido à sua proximidade da quase totalidade das principais instalações das centrais de tratamento de RSU e das instalações de tratamento de águas residuais.

Nos gráficos da figura 6, observa-se a variação mensal da irradiância diária média disponível nos locais de interesse na região de Andaluzia na Espanha, que apresentam de forma global, perfis não muito distintos dos existentes para as duas regiões portuguesas, apresentando, no entanto, valores tendencialmente mais elevados. Na tabela 2 apresenta-se a estimativa dos valores anuais de GHI e DNI nos locais de interesse identificado na região da Andaluzia.

Tabela 2 - Valores anuais para a irradiância GHI e DNI nas principais cidades da região de Andaluzia

	GHI		DNI	
	kWh/m ² ano			
<i>Almeria</i>	1871		2002	
<i>Cádiz</i>	1859		2032	
<i>Córdoba</i>	1851		2094	
<i>Granada</i>	1873		2177	
<i>Huelva</i>	1851		2094	
<i>Jaén</i>	1824		2040	
<i>Málaga</i>	1832		1953	
<i>Sevilla</i>	1908		1354	

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉCNICO DE SECAGEM COM ENERGIA SOLAR TÉRMICA

Utilizou-se um modelo simplificado para avaliação do potencial de utilização da energia solar nos dois processos de secagem de resíduos de interesse - CDR e lamas de depuração de ETAR -, obtendo como resultado a estimativa da quantidade de matéria processada por unidade de área de captação de energia solar. Assim, define-se o potencial de secagem com recurso da energia solar térmica como

$$m_{pot}^{sol} = \frac{q_{sol}}{q_{sec}} \quad (1)$$

onde q_{sol} representa a energia solar disponível para o processo de secagem por unidade de área de captação e q_{sec} representa a energia específica necessária por unidade de massa para secar o resíduo em causa. A energia solar disponível para o processo de secagem corresponde à energia solar captada pelo coletor e transferida para o fluido de trabalho. Para a presente estimativa considera-se que esta depende do DNI e do rendimento do coletor de acordo com

$$q_{sol} = \eta DNI \quad (2)$$

Na determinação do fator q_{sec} , simplificou-se o processo de secagem, considerando que a fração líquida é extraída da fração sólida simplesmente por evaporação, sem ter em linha de conta, outros processos mecânicos de desidratação, filtração e centrifugação. Neste âmbito, a fração mínima de energia térmica requerida pelo processo de secagem corresponde à soma do calor latente de evaporação da fração líquida com o calor sensível necessário para incrementar a temperatura do resíduo (fração líquida e fração sólida), desde a temperatura de início até à temperatura de evaporação. Desta forma

$$Q_{sec} = m_{H_2O}^{ev} \lambda_{H_2O} + [m_{H_2O} c_p^{H_2O} + (m_{in} - m_{H_2O})c_p](T_{op} - T_e) \quad (3)$$

A equação anterior pode ser reescrita em termos do teor de humidade em base húmida, x . Caso se conheça o calor específico da composição da lama de depuração ou do CDR seco, pode-se escrever:

$$Q_{sec} = m_{in} q_{sec} = m_{in} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + (x_h c_p^{H_2O} + (1 - x_h)c_p)(T_{op} - T_e)] \quad (4)$$

Para estimar o potencial de secagem nas regiões do Algarve, Alentejo e Andaluzia, foram usadas as equações 2 e 4. Primeiro foi estimado o valor da energia solar disponível com a equação 2 e depois foi usada a equação 4 para estimar a quantidade de energia necessária na secagem.

No processo de secagem, quanto maior for a temperatura maior será a transferência de calor e a eficiência de evaporação, no entanto, existem algumas limitações de ordem técnica relacionadas com o material a secar que limitam na prática a temperatura de operação. No caso da secagem de CDR, a temperatura atingida pelo material não deve superar os 80°C, pois existem materiais plásticos constituintes do CDR que têm mudança de fase a 90°C (Energy Waste, 2012). No processo de secagem de CDR foi adotada a temperatura de 80°C e o valor de 2305 kJ kg⁻¹ para o calor latente de evaporação da água a 80°C. A fração de humidade em base húmida do CDR por secar foi adotada em 50% e para o CDR após a secagem foi adotado o valor de 10%.

No processo de secagem das lamas é admissível a utilização de temperatura entre os 150 e os 200°C. Neste caso, para a secagem de lamas foi adotada a temperatura de operação de 200°C e o valor de 1950 kJ kg⁻¹ para o calor latente de evaporação da água a 200°C. Em ambos os casos foi admitido a temperatura ambiente de 25°C, igual à temperatura de referência para o material a secar. O calor específico da água $c_p^{H_2O}$ utilizado foi 4,2 kJ/kg⁻¹°C. As lamas de depuração são caracterizadas por um elevado teor de humidade, frequentemente superior a 83% (Banegas et al., 2007).

A fração de humidade em base húmida das lamas por secar, considerada nesta estimativa, foi 83% e de 5% após a secagem, teor de humidade limite de armazenamento por questões de segurança. Considerando os pressupostos anteriores, apurou-se o valor de q_{sec} , respetivamente de 0,62 kWh/kg para a secagem de lamas de depuração e, de 0,32 kWh/kg para a secagem de CDR.

Tendo em consideração a aplicação do modelo simplificado e os valores médios de DNI para as regiões AAA do projeto SECASOL, resulta como estimativa do potencial técnico anual de secagem solar para os processos de secagem de CDR, entre 4,1 a 4,6 t/m² para a região do Algarve e entre 4,3 a 4,5 t/m² para a região do Alentejo. Consideração equivalente para os processos de secagem de lamas de depuração, representa a estimativa de 2,2 a 2,45 t/m² para a

região do Algarve e entre 2,1 a 2,35 t/m² para região do Alentejo. Para a região da Andaluzia a estimativa anual do potencial técnico de secagem de CDR pode variar entre 4,1 e 4,6 t/m² e para a secagem de lamas de águas residuais os valores encontram-se no intervalo entre as 2,1 e 2,4 t/m².

CONCLUSÕES

No espaço transfronteiriço da Andaluzia-Algarve-Alentejo (AAA), coexistem as atividades de produção de grandes quantidades de lamas de depuração provenientes de águas residuais, de resíduos sólidos urbanos e de lixiviados de aterros sanitários ou a produção de materiais CDR em alternativa à deposição em aterro, cujas soluções de intensificação energética convencional, tem provocando o aumento de poluição nessas áreas urbanas. O projeto SECASOL tem como principal objetivo a promoção de tecnologias inovadoras para a melhoria da eficiência no processo de secagem de lamas de depuração e a secagem materiais CDR e de lixiviados de resíduos sólidos urbanos, através do uso de tecnologias solares térmica de concentração na região AAA.

Os elevados valores anuais de irradiância solar de GHI e DNI nas regiões AAA, podem contribuir como solução sustentável e descentralizada, com elevado interesse económico e ambiental, tendo sido avaliado uma estimativa do potencial técnico anual de secagem solar em cada uma das regiões e para os processos de secagem das tipologias de resíduos do projeto. Foram identificados os processos de secagem de resíduos com integração de tecnologias de energia solar térmica de concentração (ESTC), tendo em vista o enquadramento legal relativo às condições de exploração e de valorização dos resíduos em estudo nas regiões AAA do projeto.

NOMENCLATURA

q_{sol} representa a energia solar disponível para o processo de secagem por unidade de área de captação

q_{sec} a energia específica necessária por unidade de massa para secagem

$m_{H_2O}^{ev}$ representa a massa de água evaporada,

λ_{H_2O} o calor latente de evaporação da água,

m_{H_2O} a massa de água presente no material a secar,

$c_p^{H_2O}$ o calor específico da água,

m_{in} a massa de material a secar,

c_p o calor específico do material (lama ou CDR) totalmente seco,

T_{op} a temperatura de operação do interior do secador, como estimativa da temperatura atingida pelo material a secar

T_e a temperatura de entrada do material a secar

x_h fração de humidade em base húmida do material por secar

x_s fração de material após a secagem

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto SECASOL - *Fomento de tecnologías innovadoras para la mejora de la eficiencia en el proceso de secado de los lodos de Aguas Residuales y de secado de Residuos Sólidos Urbanos mediante el uso de Tecnologías Solares en Andalucía-Algarve-Alentejo* (0029_SECASOL_5_E), co-financiado pelo Programa de Cooperação Transfronteiriça Espanha-Portugal INTERREG V-A (POCTEP) 2014-2020.

Este trabalho integra-se nas atividades do Projeto de Infraestruturas “*INIESC - Infraestrutura Nacional de Investigación en Energía Solar de Concentración*” (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

- Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F., 2007. Sludge Treatment and Disposal. IWA, London.
- Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., García, C., León, G., Hernández, T., 2007. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Manag.* 27, 1317–1327. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.008>
- Bennamoun, L., 2012. Solar Drying and Wastewater Sludge: A Review. *Ren. Sustain. Energy Rev.* 16, 1061–1073.
- Bennamoun, L., Arlabosse, P., Léonard, A., 2013. Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 28, 29–43.
- Cavaco, A., Silva, H., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J., Pereira, M.C., 2016. Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade , mensal e anual 1–32. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15908.27527>
- Energy Waste, 2012. Review of alternative pre-treatment equipment [WWW Document]. <http://www.energywaste.gr>
- Lauterbach, C., Schmitt, B., Jordan, U., Vajen, K., 2012. The potential of solar heat for industrial processes in Germany. Kassel University.
- Mantilla, V., Miranda, M., diBerardino, S., Loureiro, D., Cardoso, J., Dias, I., Lobo, G., Martins, A., González, E., Pérez, S., 2018. Potencial de aplicação da energia solar térmica de concentração aos processos de depuração de águas residuais e de tratamento de resíduos sólidos urbanos. SECASOL PP1-POCTEP 0029_SECASOL_5_E (2014-2020). Lisboa.
- Mosquera, P., 2020. “Secasol, un proyecto pionero que utiliza espejos Fresnel para secar lodos y desactivar su carga tóxica”. *Energías Renovables*, Agosto. pmosquera@energias-renovables.com
- Muster, B., 2015. Integration Guideline, IEA TASK 49. CHC Solar Update May 2015 pp.7-8.
- Sancho Ávila, J.M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez De Cos Escuin, M.C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M., 2012. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Aemet 162. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.40.7247>
- STAGE-STE, 2015. MediumTemperature Solar Collectors Database [WWW Document]. URL <http://stage-ste.psa.es/keydocuments/solarthermalcollectors.php>
- Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresour. Technol.* 100, 2747–2761. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>
- Werther, J., Ogada, T., 1999. Sewage Sludge Combustion. *Progress in Energy and Combustion. Science*, 25, 55-116.