

ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE RECOLHA DE BIORRESÍDUOS

Anexo I

Gestão dos efluentes gerados na valorização dos biorresíduos. Estimativa de Quantidades e Tecnologias de Tratamento

Como referido no enquadramento do estudo, a gestão do fluxo de biorresíduos exige uma visão e uma perspetiva global em todas as suas dimensões, que inclua: a separação na fonte; a valorização na origem; a recolha seletiva; o transporte; o tratamento e valorização em alta; os produtos e efluentes que resultam deste tratamento e valorização.

Nesta perspetiva global, a convite do Instituto Politécnico de Setúbal (IPS) e em colaboração com este, a Universidade da Beira Interior (UBI), elaborou um estudo sobre Gestão dos Efluentes gerados no tratamento dos biorresíduos, que se anexa como componente complementar e integrante do estudo para o DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE RECOLHA DE BIORRESÍDUOS no Concelho de Sesimbra.

O conteúdo do presente anexo tem certamente interesse para o Município, mas, principalmente, tem especial interesse para o Sistema em Alta que tem responsabilidades no tratamento dos efluentes.

A equipa da UBI que elaborou a presente componente sobre o tratamento de efluentes gerados pelo tratamento dos biorresíduos é constituída por:

Ana Carreira Lopes, Prof.^a da Universidade da Beira Interior (coordenação técnica)

Annabel Fernandes, Investigadora da Universidade da Beira Interior

Arlindo Gomes, Prof. da Universidade da Beira Interior

Lurdes Ciríaco, Prof.^a da Universidade da Beira Interior

Maria José Pacheco, Prof.^a da Universidade da Beira Interior

15 de maio de 2021
Elaborado pela Universidade
da Beira Interior



Índice:

1 – Enquadramento

2 – Tecnologias de tratamento dos efluentes

3 – Análise de custos

4 – Conclusões

1 – Enquadramento

A formação de subprodutos indesejáveis, e a sua gestão, é um fator a considerar no tratamento de biorresíduos.

Quer o processo de compostagem, quer o de biodigestão, referidos como os mais indicados para o tratamento de biorresíduos, resultam na formação de um efluente líquido.

Os efluentes resultantes do processo de compostagem, quando esta é implementada em pequena escala e os biorresíduos utilizados consistem essencialmente em “verdes” (i.e., biomassa vegetal), são usualmente aplicados em solos agrícolas como fertilizante. No entanto, quando os biorresíduos são tratados por processos de compostagem em grande escala ou por biodigestão (no Sistema em Alta), os efluentes gerados, quer pelas suas características, quer pelos elevados volumes produzidos, têm de ser submetidos a tratamento, para depuração, antes de poderem ser descarregados no meio hídrico.

Esta necessidade de tratar os efluentes gerados pelos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos implica a existência de infraestruturas de tratamento capazes de depurar os efluentes ou o encaminhamento dos efluentes para entidades licenciadas para a sua receção e tratamento. Dependendo das características dos efluentes, o seu encaminhamento para entidades licenciadas pode apresentar um custo que varia entre 50 a 100 €/m³ de efluente, o que torna a gestão destes efluentes insustentável.

Pretende-se, com esta adenda ao Relatório, alertar para a necessidade da gestão dos efluentes líquidos gerados do tratamento de biorresíduos pelo Sistema em Alta e apresentar possíveis soluções e respetivos custos.

Nas secções seguintes, são apresentadas diferentes tecnologias de tratamento de efluentes e apontadas duas possíveis soluções, consideradas as mais adequadas, para o tipo de efluente gerado pelos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos. É ainda feita uma estimativa dos custos de tratamento destes efluentes, de acordo com as quantidades de biorresíduos a encaminhar pelo Município para operações de compostagem e biodigestão no Sistema em Alta, entre 2023 e 2030, considerando os Cenários A e B, versões otimistas.

2 – Tecnologias de tratamento dos efluentes

De acordo com pesquisa realizada no terreno e em bibliografia, os processos de compostagem e biodigestão geram entre 0,4 e 0,7 m³ de efluente/ton de biorresíduos tratados, com características que compreendem os valores apresentados na Tabela 1. Quer o volume de efluente produzido, quer as suas características, dependem essencialmente do tipo de biorresíduos tratados, do tipo de processo de compostagem e biodigestão implementado e da sua eficiência, e do tipo e eficiência dos processos de desidratação do composto produzido, implementados a jusante.

Tabela 1 – Caracterização, típica, dos efluentes resultantes dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos.

Parâmetro	Intervalo de valores
Carência Química de Oxigénio (CQO) / g L ⁻¹	18 – 70
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅) / g L ⁻¹	6 – 12
Índice de Biodegradabilidade	0,16 – 0,32
Azoto Amoniacal / g L ⁻¹	0,8 – 4,5
Azoto Total / g L ⁻¹	1,1 – 7,8
Sólidos Totais / g L ⁻¹	28 – 150
pH	7,6 – 8,2

O baixo valor do índice de biodegradabilidade revela a presença de poluentes persistentes, ou seja, não biodegradáveis, o que, juntamente com os elevados teores de carga orgânica, compostos azotados e sólidos, dificulta o tratamento destes efluentes.

A seleção de uma estratégia de tratamento adequada depende estritamente da composição e das características do efluente. A Tabela 2 apresenta as principais tecnologias aplicadas no tratamento de efluentes com características idênticas às apresentadas na tabela anterior, com identificação das vantagens e desvantagens associadas.

Tabela 2 – Principais tecnologias utilizadas no tratamento de efluentes, com indicação de vantagens e desvantagens.

Tecnologias de Separação		
<i>Processo</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Filtração	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simples e fácil de operar ✓ Processo económico ✓ Baixo consumo de energia ✓ Grande variedade de equipamentos disponíveis com base nas características da suspensão a ser filtrada, na quantidade de material sólido a ser removido e no diâmetro da menor partícula a ser removida 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Necessidade de limpeza periódica ✗ Formação de um concentrado
Separação por membranas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil de operar ✓ Grande variedade de equipamentos disponíveis com base nas características da suspensão a ser tratada, na quantidade de material sólido a ser removido e no diâmetro da menor partícula a ser removida 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Custo elevado das membranas ✗ Colmatação frequente das membranas ✗ Necessidade de limpeza periódica ✗ Formação de um concentrado
Coagulação/floculação	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Barato e fácil de operar ✓ Remoção rápida de contaminantes 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Formação de lamas contaminadas que necessitam ser tratadas ✗ Muito dependente do pH ✗ Necessidade de ajustes de pH, antes e depois do tratamento ✗ Requer a adição de produtos químicos ✗ Aumento da salinidade e possível contaminação por metais pesados
Eletrocoagulação	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simples e fácil de operar ✓ Remoção rápida de contaminantes ✓ Menor formação de lamas que na coagulação tradicional ✓ Não é necessária a adição de produtos químicos 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Formação de lamas contaminadas que necessitam ser tratadas ✗ Os ânodos têm de ser substituídos com frequência ✗ Consumo energético significativo
Precipitação química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simples e fácil de operar ✓ Seletividade: permite remover compostos específicos 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Formação de precipitado contaminado que necessita ser tratado ✗ Dependente do pH ✗ Requer uma grande adição de produtos químicos

Tecnologias de Oxidação

<i>Processo</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Biológico aeróbio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Experiência acumulada ✓ Robustez e versatilidade de operação 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Custo superior ao do processo anaeróbio, devido ao arejamento ✗ Requer grandes áreas para implementação ✗ A aclimatação de biomassa é muitas vezes necessária para efluentes com carga poluente elevada ✗ Elevado tempo de retenção ✗ Formação de grande quantidade lamas, que necessitam ser tratadas ✗ Limitado aos compostos orgânicos biodegradáveis ✗ Nem todos os compostos orgânicos sofrem degradação completa
Biológico anaeróbio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil de operar ✓ Produção de biogás que pode ser aproveitado ✓ Requer menor espaço que o processo aeróbio 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Maior sensibilidade na operação que o processo aeróbio
Oxidação química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Instalação relativamente simples, que requer pouco espaço 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Requer uma grande adição de produtos químicos ✗ Manuseamento de produtos químicos perigosos ✗ Nem todos os compostos orgânicos sofrem oxidação pelos agentes oxidantes convencionais ✗ Impossibilidade de antecipar os compostos obtidos, que podem ser mais nefastos que os iniciais
Oxidação eletroquímica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Instalação simples, que requer pouco espaço ✓ Não há formação de lamas ✓ Fácil automação, dispensando recursos humanos ✓ Eficiente numa ampla gama de pH ✓ Não é necessária a adição de produtos químicos ✓ Eficiente para todas as classes de compostos orgânicos 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Custo elevado de materiais de eletrodo ✗ Consumo energético elevado ✗ Formação de nitratos sempre que a amostra inicial contiver azoto amoniacal ou orgânico
Ozonólise	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Instalação simples, que requer pouco espaço ✓ Não é necessária a adição de produtos químicos, uma vez que o O₃ é gerado <i>in situ</i> ✓ Não há formação de lamas 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Custo elevado de equipamentos e de manutenção ✗ Consumo energético elevado do gerador de O₃ ✗ O gás O₃ tem de ser destruído ✗ Produtos finais podem ser mais poluentes que os iniciais

Para o tipo de efluentes em causa, os tratamentos que consistem num único processo são geralmente ineficazes, havendo a necessidade de integrar mais do que uma tecnologia para atender aos limites de descarga legislados.

A existência de materiais particulados (> 1000 nm), partículas coloidais (de 1 a 1000 nm) e sólidos dissolvidos nos efluentes diminui a eficiência dos processos de tratamento por oxidação da matéria orgânica, podendo estes ser facilmente removidos, nas fases iniciais do tratamento, por processos de separação físicos ou químicos. Usualmente, sólidos suspensos de maior dimensão são removidos através de sistemas de gradagem, sendo posteriormente aplicado um processo de separação, de entre os referidos da Tabela 2, para remover sólidos de menor dimensão, partículas coloidais e sólidos dissolvidos.

No entanto, as tecnologias de separação têm como grande desvantagem a produção de lamas ou concentrados, que, no caso dos processos de separação químicos, necessitam tratamento posterior. Assim, apesar da necessidade desses processos em algum estágio de uma linha de tratamento de efluentes, outras tecnologias que realmente alcancem a mineralização da matéria orgânica, ou a sua degradação em compostos mais simples, devem ser preferidas aos processos de separação.

Considerando as características dos efluentes resultantes dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos (Tabela 1) e as vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias de tratamento apresentadas (Tabela 2), sugerem-se, como possíveis e mais adequadas, as seguintes opções de tratamento destes efluentes:

- I. Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Oxidação eletroquímica + Descarga em ETAR Municipal
- II. Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Bioreator de membrana

Ambas as opções de tratamento, I e II, iniciam com um sistema de gradagem automático seguido por um processo de filtração por tambores rotativos, uma vez que se considera ser esta a melhor opção para a remoção dos materiais particulados, partículas coloidais e sólidos suspensos.

A aplicação de um pré-tratamento por gradagem automática tem como objetivo remover os sólidos suspensos de maior dimensão, e assim facilitar e aumentar a performance da operação do processo de filtração por tambores rotativos. A gradagem automática apresenta como principais vantagens a robustez e longevidade do equipamento, sem requisitos especiais de manutenção. O consumo energético vai depender das especificações do equipamento, mas não é expressivo. O sistema funciona de forma automática, removendo e recolhendo os sólidos separados. Estes sólidos separados do efluente podem ser adicionados ao composto resultante dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos, e assim valorizados.

A filtração por tambores rotativos visa remover os sólidos suspensos do efluente, sendo possível, com esta tecnologia, obter remoções iguais ou superiores a 95%. Existe uma vasta experiência de utilização desta tecnologia e várias opções comerciais disponíveis, com aplicação em contextos muito diversos. Os equipamentos são robustos, de operação automática e apenas requerem a substituição dos filtros após 3-5 anos de uso. Em alguns equipamentos a seletividade dos filtros e telas pode ser selecionada e ajustada, se necessário, ou seja, o mesmo equipamento suporta filtros com seletividade diferente, enquanto a

produtividade pode ser ajustada pela velocidade de rotação do tambor. O consumo de energia depende das especificações do equipamento, variando a potência dos motores entre 1 e 11 KW. Os sólidos separados do efluente podem ser adicionados ao composto resultante dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos, e assim valorizados.

As opções de tratamento I e II diferem na 2ª etapa de tratamento dos efluentes. A escolha de uma das opções vai depender do destino final que se pretende dar ao efluente tratado.

Caso seja exequível encaminhar o efluente para tratamento final em ETAR Municipal, sugere-se a Opção de Tratamento I, que compreende uma 2ª etapa de **tratamento por oxidação eletroquímica**. **Este processo é altamente eficiente no tratamento de efluentes com carga orgânica elevada e conduz à oxidação completa dos poluentes, sem a necessidade de adicionar quaisquer produtos químicos e sem a desvantagem da produção de lamas ou concentrados**. É, assim, um processo limpo, de operação automática, que não requer a ação de operadores nem manutenção significativa. A sua única desvantagem é o consumo energético, que poderá ser ultrapassada pela utilização da energia resultante da produção do biogás, no processo de biodigestão dos biorresíduos. Como o processo se torna menos eficiente para efluentes com cargas orgânicas reduzidas, aumentando assim exponencialmente os custos do tratamento, sugere-se a interrupção do tratamento por oxidação eletroquímica quando o efluente atingir a qualidade mínima para ser reencaminhado para tratamento em ETAR Municipal.

A Opção de Tratamento II, que compreende uma 2ª etapa de tratamento através de um bioreator de membrana, é apresentada como alternativa, no caso em que não seja possível encaminhar o efluente para tratamento final em ETAR Municipal e se pretenda obter um efluente final tratado com os requisitos para descarga em meio hídrico, ou suscetível de reutilização. Esta opção de tratamento permite a depuração do efluente para satisfazer a legislação de descarga de águas residuais tratadas em meio hídrico e maximizar a conversão da matéria orgânica em biogás.

O processo de bioreator de membrana apresenta tempos de tratamento mais longos que o processo de oxidação eletroquímica e a desvantagem da produção de lamas e concentrados e da necessidade de operações de manutenção mais frequentes. No entanto, permite obter remoções de poluentes acima dos 99%, com a vantagem do possível aproveitamento do biogás produzido. O volume de concentrado obtido corresponde a, aproximadamente, 20% do volume tratado, que pode ser usado como fertilizante na agricultura ou no processo de compostagem, para humidificar o processo (substituindo a água pura). Relativamente às lamas resultantes do processo biológico, poderão ser incorporadas no composto para valorização, uma vez que não têm contaminação fecal, nem de compostos tóxicos ou de metais.

3 – Análise de custos

A Tabela 3 apresenta o intervalo estimado do volume de efluente, resultante do tratamento dos biorresíduos, face à quantidade de biorresíduos a encaminhar pelo Município para o Sistema em Alta, nos anos 2023 e 2030, correspondentes aos anos de menor e maior quantidade de biorresíduos, respetivamente, de acordo com os cenários A e B otimistas.

Tabela 3 – Quantidade de biorresíduos a encaminhar pelo Município para o Sistema em Alta e respetivo intervalo estimado do volume de efluente resultante do tratamento dos biorresíduos, nos anos 2023 e 2030, de acordo com os cenários A e B otimistas.

Cenário	Quantidade de Biorresíduos a encaminhar para o Sistema em Alta ton		Intervalo estimado do volume de efluente resultante do tratamento dos biorresíduos m ³	
	2023	2030	2023	2030
A - Otimista	1000	7503	400 – 700	3001 – 5252
B - Otimista	952	6382	381 – 666	2553 – 4467

Considerando as duas opções de tratamento, I e II, dos efluentes provenientes dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos, propostas na secção anterior, a Tabela 4 apresenta um intervalo estimado dos custos de investimento e dos custos de operação, face às quantidades de biorresíduos do Município a tratar no Sistema em Alta, nos anos 2023 e 2030. Neste quadro não se apresentam custos com recursos humanos, que serão manifestamente superiores no caso da Opção de Tratamento II.

Tabela 4 – Estimativa dos custos de investimento e custos de operação para a gestão dos efluentes provenientes dos processos de compostagem e biodigestão de biorresíduos, no Sistema em Alta, face às quantidades de biorresíduos a tratar nos anos 2023 e 2030, de acordo com os cenários A e B otimistas.

Opção de tratamento	Intervalo de custos de investimento estimados	Intervalo de custos de operação estimados / ano			
		Cenário A		Cenário B	
		2023	2030	2023	2030
Sem tratamento – Encaminhamento para entidades licenciadas	–	19 992 € – 69 973 €	150 058 € – 525 203 €	19 039 € – 66 638 €	127 642 € – 446 746 €
<u>Opção I</u> Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Oxidação eletroquímica	193 480 € – 460 050 €	9 796 € – 29 739 €	73 528 € – 223 211 €	9 329 € – 28 321 €	62 544 € – 189 867 €
<u>Opção II</u> Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Bioreator de membrana	255 000 € – 385 000 €	2 399 € – 6 997 €	18 007 € – 52 520 €	2 285 € – 6 664 €	15 317 € – 44 675 €

Com o objetivo de apresentar uma visão global dos custos envolvidos na gestão dos efluentes no período compreendido entre 2023 e 2030, a Tabela 5 apresenta, para as diferentes opções de tratamento e cenários considerados, o custo global médio do tratamento dos efluentes resultantes da gestão dos biorresíduos encaminhados pelo Município para o Sistema em Alta, entre 2023 e 2030.

Ressalva-se que os valores apresentados não incluem os custos com recursos humanos, que serão manifestamente superiores no caso da Opção de Tratamento II.

Para o cálculo do custo global médio de investimento no período compreendido entre 2023 e 2030, admitiu-se que a amortização dos custos de investimento inicial é concretizada em 7 anos.

É também apresentado na Tabela 5 o custo médio de operação, por m³ de efluente tratado, para cada umas das opções de tratamento propostas, assim como o volume médio de efluente a ser tratado durante o período compreendido entre 2023 e 2030.

Tabela 5 – Custo global médio do tratamento dos efluentes resultantes da gestão dos biorresíduos encaminhados pelo Município para o Sistema em Alta, durante o período compreendido entre 2023 e 2030, de acordo com os cenários A e B otimistas.

		Sem tratamento – Encaminhamento para entidades licenciadas	<u>Opção I</u> Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Oxidação eletroquímica	<u>Opção II</u> Gradagem + Filtração por tambores rotativos + Bioreator de membrana
Custo médio de operação por m³ de efluente		75 €	33 €	8 €
Cenário A – Otimista	Volume médio de efluente a tratar		16 549 m ³	
	Custo médio de Investimento + Custo médio de Operação	1 241 142 €	872 867 €	452 388 €
Cenário B – Otimista	Volume médio de efluente a tratar		14 477 m ³	
	Custo médio de Investimento + Custo médio de Operação	1 085 757 €	804 498 €	435 814 €

4 – Conclusões

O tratamento de biorresíduos no Sistema em Alta por processos de compostagem e biodigestão vai resultar na produção de um efluente que necessita ser tratado antes da sua descarga no meio hídrico.

Atendendo à elevada carga orgânica destes efluentes gerados, largamente superior à dos lixiviados de aterro sanitário habitualmente geridos pelos Sistemas em Alta, as tecnologias de tratamento, que possam existir atualmente nos Sistemas em Alta, não têm capacidade de dar resposta. Haverá, assim, a necessidade de implementar novos processos de tratamento, com custos acrescidos para os Sistemas em Alta.

A seleção de uma estratégia de tratamento adequada para estes efluentes vai depender estritamente da sua composição, características e quantidade. Considerando as diferentes opções existentes, a escolha deverá incidir, não só no preço, mas também na compatibilidade ambiental, isto é, deverá ser dada preferência a processos de tratamento limpos (com elevada sustentabilidade ambiental), que não resultem em produtos indesejados que acabem por ter de ser depositados em aterro, como é o caso de lamas contaminadas.

De referir também que, atendendo a que a quantidade de biorresíduos a depositar em aterro vai reduzir drasticamente, as características dos lixiviados daí resultantes vão ser distintas das atuais, com maiores frações de compostos recalcitrantes, o que poderá inviabilizar o seu tratamento pelas tecnologias atualmente utilizadas.

A tecnologia de oxidação eletroquímica cumpre com os requisitos da sustentabilidade ambiental e, apesar dos elevados custos energéticos associados, o custo em mão de obra e manutenção é praticamente inexistente. É uma tecnologia que tem vindo a ser desenvolvida por investigadores da Universidade da Beira Interior (UBI), tendo sido patenteada por esta Instituição em 2020, e que certamente será de considerar pelo Sistema em Alta no âmbito dos investimentos que necessariamente irá fazer a curto prazo nesta área.