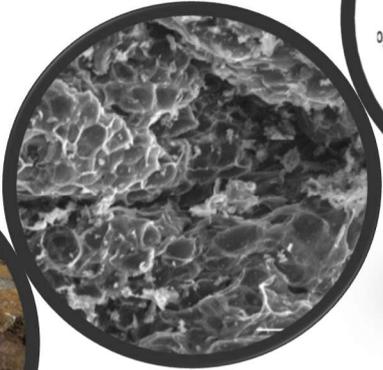
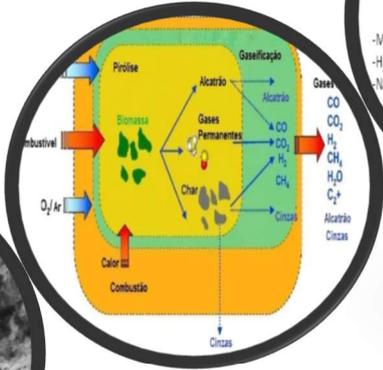
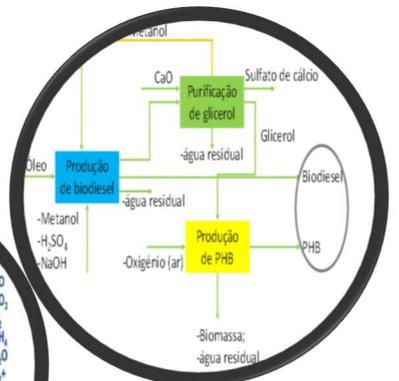


Biorrefinarias22





1º Workshop em Biorrefinarias22

20 de maio de 2022

Universidade de Évora

Évora, Portugal

Ficha técnica**Título:** Biorrefinarias22**Autores:** Inês Matos, Isabel Pestana da Paixão Cansado, Maria Bernardo, José Eduardo Castanheiro e Paulo Alexandre Mira Mourão**Edição:** Universidade de Évora**Editores:** José Eduardo Castanheiro, Paulo Alexandre Mira Mourão, Isabel Pestana da Paixão Cansado**Impressão:** Serviço de Reprografia e Publicações da Universidade de Évora

Maio 2022

ISBN DIGITAL: 978-972-778-267-3

Índice

Capítulo	Título	Página
1.	Valorização de biorresíduos numa perspetiva da economia circular.	1-14
2.	Conversão de resíduos da biomassa em materiais adsorventes.	15-22
3.	Processos termoquímicos de conversão de biomassa em energia e outros compostos.	23-30
4.	Biorrefinarias: uma solução para o futuro?	31-38

CAPÍTULO 1

Valorização de biorresíduos numa perspetiva da economia circular

I.P.P. Cansado^{1,2,*}, P.A.M. Mourão¹, J. E. Castanheiro¹

¹MED, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Departamento de Química, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho nº59, 7000-671 Évora – Portugal

²LAQV.Requimte- Laboratório Associado para a Química Verde
Email: ippc@uevora.pt

1. Introdução

A qualidade de vida a que a nossa sociedade se habituou, assenta num consumismo excessivo que culmina com uma produção exagerada de resíduos. Os desperdícios, que há uns anos atrás eram identificados como resíduos e por isso eram enviados para as lixeiras ou aterros sem qualquer tipo de retorno económico, hoje em dia são identificados como sub produtos e reconhecidos como possíveis matérias primas para utilização em novos processos.

Segundo o Decreto – Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, que apresenta a legislação fundamental no âmbito da gestão de resíduos, transpõe a Diretiva nº 2008/98/CE, de 19 de novembro, e altera o Decreto – Lei nº 178/2006, a definição de resíduos é a seguinte “quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer” [1].

Os resíduos podem ser classificados com base na sua origem, forma e estado físico, propriedades físico-químicas, entre outros. Quanto à sua proveniência, os mesmos podem ser agrupados em resíduos hospitalares, domésticos, industriais, construção e demolição, eletrónicos, agrícolas e urbanos. Todos os resíduos, quer sejam biorresíduos ou resíduos inorgânicos, devem ser descartados adequadamente, por forma a contribuir para uma redução de problemas de saúde, da produção de gases com efeito de estufa, do aumento da qualidade dos solos, dos cursos hidricos e do meio ambiente de uma maneira geral. O Decreto-Lei n.º 102-D/2020, de 10 de dezembro apresenta as políticas referentes à gestão de resíduos, sendo que as mesmas têm evoluído no sentido da gestão sustentável dos mesmos, tendo como objetivos fundamentais “preservar e melhorar a qualidade do

ambiente, proteger a saúde humana, assegurar uma utilização prudente, eficiente e racional dos recursos naturais, reduzir a pressão sobre a capacidade regenerativa dos ecossistemas, promover os princípios da economia circular, reforçar a utilização da energia renovável, aumentar a eficiência energética, reduzir a dependência de recursos importados, proporcionar novas oportunidades económicas e contribuir para a competitividade a longo prazo” [2].

2. Economia circular nos resíduos sólidos urbanos

A evolução da nossa sociedade está cada vez mais dependente de uma mudança no paradigma do estilo de vida. É necessário assumir desde já a necessidade de um consumo sereno, onde o conhecimento do ciclo de vida dos produtos levará a escolhas assertivas e permitirá uma redução das emissões de gases com efeito de estufa, a redução da extração de matérias primas, a redução de desperdícios e a manutenção do nosso planeta tal como o conhecemos. Uma forma de atenuar este problema passa por uma mudança de consciências e hábitos. É necessário opor-se a uma economia linear, assente no consumismo imediato e descartável e apoiar os princípios de uma economia circular, assente num conceito que apadrinha a redução, reutilização, recuperação, restauração, renovação e reciclagem de materiais e energia.

Torna-se inadiável promover as abordagens circulares que priorizam os produtos reutilizáveis, e produzidos a partir de matérias primas preferencialmente recicladas, e aos sistemas de reutilização sustentáveis e não tóxicos em vez dos produtos de utilização única, tendo como enfoque a redução dos resíduos gerados [2].

A 30 de maio de 2018 foi aprovada a Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos e que introduziu a obrigatoriedade de implementação a nível Europeu de redes de recolha seletiva de biorresíduos ou de proceder à separação e reciclagem na origem dos mesmos. A diretiva introduziu também uma meta em relação à redução das quantidades de resíduos que podem ser colocados nos aterros, com a especificidade de que a partir de 2030, os aterros não poderão aceitar quaisquer resíduos que possam ser reciclados ou valorizados por outras vias. No seguimento desta diretiva foram definidas metas em relação às percentagens de reciclagem que se pretendem alcançar gradualmente nos próximos anos, ou sejam 55% em 2025, 60% em 2030 e 65% em 2035 [3].

Os 5R's são frequentemente associados aos resíduos de plástico, papel e vidro, que após um processo de recolha selectiva, já vastamente implementado, são enviados para reciclagem. Mas há uma diversidade de outros resíduos (orgânicos), menos explorada, que também pode ser valorizada através de um processo de triagem e reciclagem. Mundialmente são produzidos cerca de 1,4 biliões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por ano, o que corresponde a uma média de 1,2 kg per capita, por dia, cujo exemplo é ilustrado na figura 1, sendo que uma grande percentagem destes RSU ainda é direccionada para o contentor dos indiferenciados.



Figura 1. Imagem de resíduos domésticos, foto dos autores.

Estes dados são ainda mais preocupantes, quando o Banco Mundial e a Organização das Nações Unidas preveem um acréscimo dos resíduos sólidos urbanos, na ordem dos 350%, até 2050 [4]. Em Portugal, em 2020 foram produzidos cerca de 5,3 milhões de toneladas de resíduos urbanos (RU), com composição típica de 36,9% de biorresíduos, 11,42% plástico, 10,06% papel e cartão, 8,48% têxteis e sanitários, 7,23% vidro, 4,22% resíduos volumosos, 3,94% compósitos, 3,78% têxteis, 1,96% metais, 1,39% resíduos verdes (recolhidos de forma selectiva), 0,75 madeira, 0,06% resíduos perigosos e 2,47% outros resíduos. Destes resíduos uma percentagem de 64,2% foi enviada directamente para aterro em 2020, como ilustrado na figura 2.

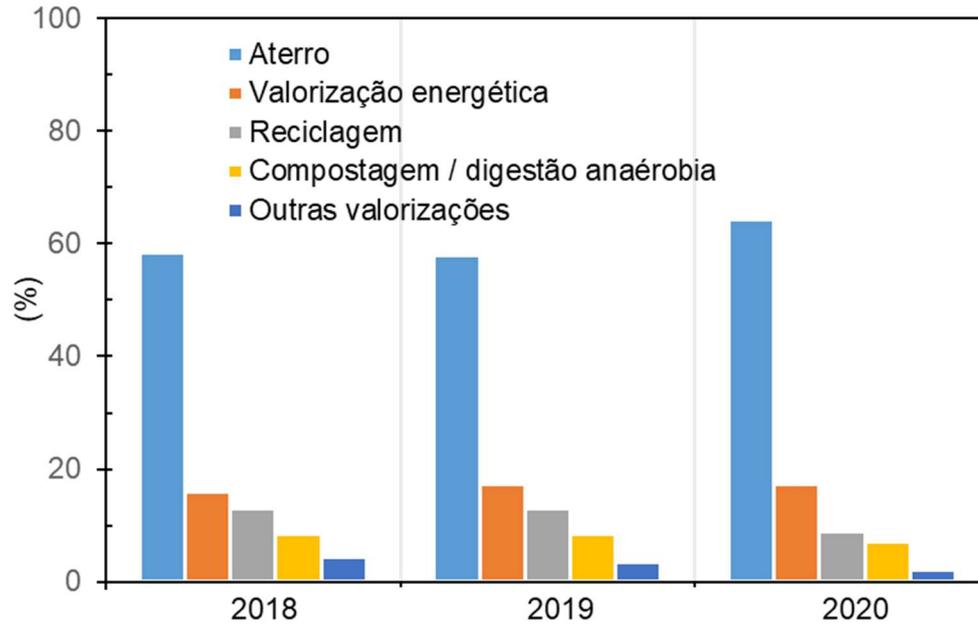


Figura 2. Destino dos resíduos urbanos produzidos em Portugal, adaptado de APA, 2021 [4].

Para que as metas de reciclagem sejam alcançadas é necessário que as estratégias definidas sejam exequíveis, pois só assim será possível alcançar uma redução da quantidade de resíduos produzidos através da reintrodução nos vários processos produtivos de matérias primas secundárias que possam substituir as matérias-primas extrativas. Esta circularidade das matérias primas levará em última análise a uma redução da aquisição de matérias primas primárias a outros países.

3. Resíduos orgânicos e inorgânicos

Os resíduos orgânicos são biodegradáveis, ou seja em condições controladas são facilmente decompostos por outros organismos vivos. Nesta categoria incluem-se os restos provenientes das atividades agrícolas, agro-pecuárias e processamento de alimentos, folhas, restos de comida, enfim todos os restos de plantas ou animais mortos. Nesta categoria também estão incluídos os biorresíduos industriais, entre os quais são identificados alguns desperdícios como: têxteis, açúcares, papel, óleo de palma, cortiça, restos do processamento de alimentos, da padaria, laticínios, curtumes, silvicultores e

transformação de madeira. Na realidade, a maioria das indústrias que produzem biorresíduos estão ligadas ao sector agrícola.

Por seu lado, os resíduos inorgânicos provém de extração de matérias primas não renováveis. Os resíduos inorgânicos apresentam tempos de degradação muito longos e nesta categoria incluem-se os copos e pratos descartáveis, garrafas de água e sumos, garrafas de vidros, e as latas de alumínio e toda uma diversidade de itens em plástico ou vidro de uso diário.

3.1. Classificação dos resíduos em função da sua proveniência

3.1.1. Resíduos biodegradáveis de origem doméstica, urbana, agrícola e industrial

Com base no Decreto Lei nº 73/2011, de 7 de Junho, revisto no decreto Lei nº 102-D/2020, de 10 de dezembro, os biorresíduos são “os resíduos biodegradáveis de espaços verdes, nomeadamente os de jardins, parques, campos desportivos, bem como os resíduos biodegradáveis alimentares e de cozinha das habitações, das unidades de fornecimento de refeições e de retalho e os resíduos similares das unidades de transformação de alimentos” [1, 2]. Na Europa, os vários resíduos estão catalogados no Catálogo Europeu de Resíduos, publicado em 2014 [3].

Os biorresíduos quando lançados em corpos hídricos podem proporcionar uma diminuição da concentração de oxigênio dissolvido nesse meio, provocando a morte dos animais que aí vivem, o que é acompanhado da libertação de odores desagradáveis. Na ausência de oxigênio estes resíduos sofrem um processo de degradação anaeróbia e são transformados em metano, que é um gás que contribui para o efeito de estufa.

3.1.2. Resíduos hospitalares, médicos e biomédicos

Nesta classe (s) incluem-se sólidos, líquidos e outros resíduos provenientes da prestação de qualquer procedimento médico ou de tratamento. Estes resíduos são produzidos principalmente nos postos de saúde, laboratórios, lares, dentistas, veterinários e em todas as instalações onde são prestados cuidados de saúde. Estes resíduos podem apresentar um caráter infeccioso ou perigoso e por isso não podem ser colocados nos aterros sanitários junto com o lixo comum. A sua manipulação requer cuidados especiais com vista à proteção do público em geral e dos profissionais de saúde. Os resíduos identificados como

infeciosos são incinerados, enquanto que os utensílios utilizados na prestação de cuidados médicos são reutilizados após serem submetidos a um processo de esterilização.

3.1.3. Resíduos Químicos

São desperdícios provenientes do uso recorrente nos vários laboratórios e nas fábricas de produtos químicos nas mais variadas atividades. O descarte destes resíduos obriga a um processo de separação, identificação e armazenamento em local apropriado. Estes resíduos são à posteriori eliminados por empresas especializadas neste tipo de descarte.

3.1.4. Resíduos de lixo eletrónico

Toda a sucata eletrónica proveniente das nossas casas ou de qualquer edifício, contém contaminantes como chumbo, cádmio e diferentes peças metálicas. O seu descarte obriga a um processo de separação dos metais presentes nos vários componentes, por forma a permitir a reciclagem seletiva dos mesmos.

3.1.5. Resíduos de negócios e construção

Nos resíduos de negócios e construção estão incluídos todos os resíduos provenientes das atividades comerciais e industriais, onde se podem incluir os resíduos da construção. Estes resíduos devem ser recolhidos através de acordos prévios estabelecidos entre as empresas e as entidades municipais que promovem a respectiva recolha, tratamento e disposição.

3.1.6. Resíduos domésticos volumosos

São resíduos com dimensões relativamente grandes (volumosos) e que por isso não são recolhidos com os restantes resíduos sólidos urbanos (RSU). Nesta classe de resíduos incluem-se os móveis (sofás, cadeirões, mesas, armários), equipamentos de grande porte (arcas congeladoras, fogões, etc.) e ainda peças de mobiliário de casa de banho ou cozinha (banheiras, sanitas, lava louça). A recolha destes resíduos deve ser agendada com as entidades municipais que promovem a respectiva recolha, tratamento e disposição.

4. Biorresíduos a situação atual

Os biorresíduos podem ser provenientes dos resíduos urbanos biodegradáveis, dos resíduos orgânicos agrícolas e das explorações agropecuárias e de industriais. Os resíduos verdes são todos os resíduos biodegradáveis resultantes da manutenção de jardins, parques e campos desportivos, da agricultura e floresta, como ilustrado na figura 3. Apesar de representarem uma parcela importante dos resíduos biodegradáveis, ainda não existe um levantamento exaustivo sobre o tipo, as quantidades e o seu local de produção, o que dificulta a recolha seletiva e respectiva valorização.



Figura 3. Subprodutos provenientes da poda das árvores e das limpezas dos jardins urbanos, foto dos autores.

Os resíduos domésticos orgânicos são maioritariamente colocados nos indiferenciados, com os restantes resíduos, o que acarreta vários problemas. Na realidade, a mistura de resíduos orgânicos com o papel e cartão, presentes nos indiferenciados, impossibilita a reciclagem devido à contaminação. Se os biorresíduos domésticos forem recolhidos de forma seletiva e posteriormente enviados para uma das diferentes formas de valorização, os benefícios serão múltiplos. O tempo de vida dos aterros sanitários será prolongado, os resíduos orgânicos, mas também os inorgânicos (que são colocados nos indiferenciados) poderão ser valorizados contribuindo para um ganho económico mas também ambiental.

De acordo com a avaliação da Agência Europeia do Ambiente, os biorresíduos constituem a maior componente (34%) de todos os resíduos urbanos da Europa e cerca de 60% desses

resíduos provem de resíduos de alimentos. Cada cidadão produz anualmente uma média de 173 Kg de resíduos provenientes da alimentação, o que corresponde a um quinto de todos os alimentos produzidos [5]. Portugal ainda tem um grande percurso pela frente. Em 2018, a quantidade de biorresíduos produzida foi de cerca de 1,8 milhões de toneladas, sendo que este montante equivale a 36,4% da totalidade dos resíduos produzidos, e apenas 5% dos mesmos foram recolhidos de forma seletiva [6].

5. Valorização de biorresíduos

Os biorresíduos, quando depositados em aterro decompõem facilmente sob a ação dos microrganismos, representando assim vários problemas para a saúde humana, solos, cursos hídricos e para o ambiente. Durante o processo de decomposição dos biorresíduos ocorre a produção de metano, que é um gás de efeito estufa várias vezes mais destrutivo da camada de ozono do que o dióxido de carbono. Durante a decomposição em aterro formam-se também uma quantidade significativa de lixiviados, que requerem um tratamento adequado antes de serem descartados nos corpos hídricos.

Existem diferentes métodos de valorização / reciclagem de lixos orgânicos, cada um dos quais pode ser indicado em função do grupo de resíduos e do produto final pretendido.

As diferentes formas de valorização dos biorresíduos incluem a extração de compostos fenólicos, óleos, ou biomoléculas, polissacarídeos e compostos aromáticos para utilização em diferentes indústrias [7]. Os biorresíduos, principalmente os provenientes das explorações agrícolas, podem ser usados diretamente na alimentação dos animais, podendo ser conservados após um processo de desidratação. Por seu lado, os subprodutos da agroindústria, podem ser incorporados nas rações para alimentação animal. A parte dos biorresíduos que contém uma maior percentagem de água pode ser colocada diretamente nos solos ou pode ser submetida a um processo de compostagem para produção de fertilizantes e corretivos orgânicos.

Devido aos impactos negativos decorrentes da deposição em aterro e incineração, dos diferentes resíduos, mas com destaque para os biorresíduos, a digestão anaeróbia tornou-se uma forma viável de produção de biocombustíveis (Biogás) ou seja uma fonte de produção de energia renovável. A valorização energética dos biorresíduos ou biomassa passa pela queima direta para produção de energia; gaseificação que consiste na

transformação de resíduos sólidos (biomassa) em gases, através de reações termoquímicas que envolvem a presença de vapor quente e ar ou oxigênio em quantidades inferiores ao mínimo necessário para que ocorra a combustão; pirólise que consiste na queima parcial dos resíduos na ausência quase total de oxigênio; transesterificação que transforma os resíduos de óleos vegetais usados num produto intermediário, designado por biodiesel. A digestão anaeróbica consiste num sistema que digere os resíduos orgânicos, sendo um processo 100% natural, realizado por microrganismos, que gera um biocombustível, composto basicamente por dois gases de efeito estufa, o metano e o dióxido de carbono uma fonte de energia renovável designada por biogás e um resíduo líquido rico em minerais, que pode ser utilizado como biofertilizante [8-10]. Os açúcares presentes na biomassa podem ser convertidos em álcoois, através de um processo de fermentação que ocorre na presença de leveduras [11]. Os biorresíduos têm uma grande percentagem de carbono, o que possibilita que sejam valorizados através da sua conversão em biochar [12] ou materiais adsorventes como os carvões ativados [13, 14].

6. Compostagem dos biorresíduos

A degradação biológica da matéria orgânica é um processo que ocorre naturalmente no meio ambiente, envolvendo a decomposição da vegetação morta, dejetos de animais e animais mortos. Como os biorresíduos são ricos em substâncias energéticas e nutritivas permitem assim o desenvolvimento de microrganismos, que na presença do oxigênio, promovem a sua decomposição. O composto resultante é rico em nutrientes e minerais, servindo como um adubo natural e favorecendo o crescimento das plantas. Mesmo que toda a matéria orgânica possa ser compostada, alguns materiais como lascas de madeira e papel demoram mais tempo para serem degradados pelos microrganismos do que alimentos e resíduos agrícolas, que contêm uma grande quantidade de água na sua composição. No entanto durante o processo de compostagem são adicionadas algumas aparas para promover o processo de aeração. A figura 2 apresenta alguns exemplos de biorresíduos de diferentes proveniências que podem ser valorizados através de um processo de compostagem.

Resíduos orgânicos compostáveis

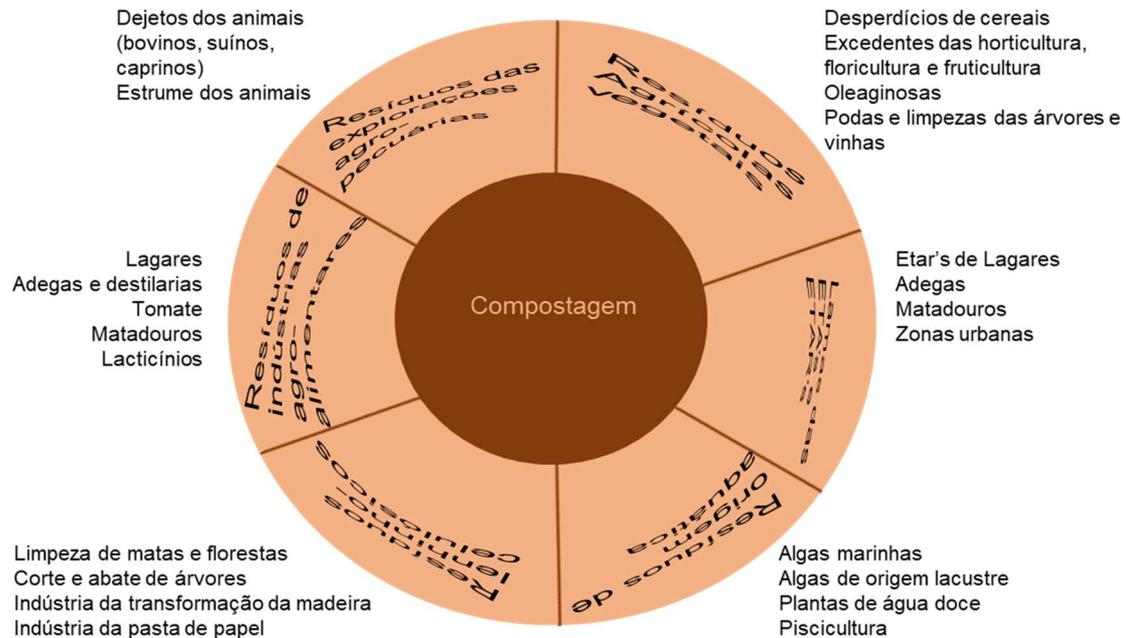


Figura 4. Resíduos sólidos com potencial de utilização em compostagem.

O processo de compostagem divide-se essencialmente em três fases [9]:

1ª fase – com uma duração de cerca de 15 dias, durante a qual os fungos e bactérias decompõem o lixo orgânico, a uma temperatura próxima da temperatura ambiente, esta fase é designada de mesófila.

2ª fase – com uma duração de aproximadamente 40 dias, durante a qual há um aumento da atividade dos fungos e bactérias que decompõem o lixo orgânico, a uma temperatura que varia entre os 65 e 70°C, esta fase é designada de termofílica.

3ª fase – com uma duração de aproximadamente 30 dias, durante este período ocorre um abaixamento da temperatura e da atividade microbiana, levando à maturação do composto [9]. Após este período, o composto encontra-se num estado de maturação que lhe permite a sua utilização como fertilizante nos solos agrícolas.

A compostagem pode ser realizada a nível doméstico, com recurso a pequenos compostores ou através da construção de pilhas de compostagem, como ilustrado na figura 5.



Figura 5. Imagem de uma pilha preparada para o processo de compostagem de biorresíduos, resíduos verdes (foto cedida gentilmente por Gilda Matos, Gesamb).

A compostagem permite a redução dos resíduos a colocar nos indiferenciados e permite a obtenção de um composto de elevada qualidade que pode substituir os fertilizantes comerciais. Alguns municípios já implementaram um sistema de compostagem com o objetivo de diminuir os custos com a deposição dos resíduos urbanos em aterro. As unidades de gestão e recolha de RSU permitem-se a instalação de unidades de compostagem em grande escala, suportados por unidades de compostagem industrial. O composto obtido é de elevada qualidade devido a um controlo apertado dos vários parâmetros determinantes do processo de compostagem, tais como: arejamento, humidade, temperatura, libertação de odores, granulometria, nutrientes, razão C/N, pH, metais pesados, consumo de O_2 e produção de CO_2 .

7. Conclusão

A bioeconomia circular permite uma melhor utilização dos recursos orgânicos da forma mais produtiva e económica e “Amiga do Ambiente”. Várias técnicas avançadas e as suas combinações foram relatadas para valorizar o desperdício alimentar para bens de alto valor económico. As metas previstas para a valorização dos biorresíduos, com destaques para os de origem doméstica, só serão atingidas se houver um investimento na separação nos pontos de produção. Deste ponto de vista, a legislação europeia que é posteriormente transposta para Portugal obriga à implementação de formas inovadoras de triagem, separação, transporte e valorização dos biorresíduos dando destaque à valorização dos biorresíduos de origem doméstica.

A valorização destes resíduos permite a sua conversão num composto orgânico, de elevada qualidade para uso agrícola, ou na produção de biogás /biodiesel que poderá ser utilizado como combustível para veículos a gás ou para produção de energia elétrica. Os biorresíduos, assim como os subprodutos provenientes da digestão anaerobia, podem ser usados como fertilizantes ou valorizados através da sua transformação em materiais adsorventes, como por exemplo os biochar e os carvões ativados, cuja demanda no mercado está em crescente.

Referências

- [1] Decreto Lei nº 73/2011, de 7 de junho, [DL n.º 73/2011, de 17 de Junho \(pgdlisboa.pt\)](#), acedido em 17 de maio de 2022.
- [2] Decreto-Lei nº 102-D/2020, de 10 de dezembro, [doc.pdf \(parlamento.pt\)](#), acedido em 17 de maio de 2022.
- [3] [2020-orientacoes-biorresiduos-v1.pdf \(nomia.pt\)](#), [2020-orientacoes-biorresiduos-v1.pdf \(nomia.pt\)](#)
- [4] Jornal Oficial da União Europeia, decisão da Comissão de 18 de dezembro de 2014. (2014/955/UE). [2014/955/UE: Decisão da Comissão, de 18 de dezembro de 2014, que altera a Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos em conformidade com a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Texto relevante para efeitos do EEE - Publications Office of the EU \(europa.eu\)](#)

[5] O ambiente na Europa: Estado e perspectivas 2020 Sumário executivo — Agência Europeia do Ambiente, [Agência Europeia do Ambiente](#) acessado em 20 de maio de 2022.

[6] Estratégia dos Biorresíduos | Agência Portuguesa do Ambiente ([apambiente.pt](#)), Biorresíduos | [Agência Portuguesa do Ambiente \(apambiente.pt\)](#), acessado em 17 de maio de 2022.

[7] Fritsch, C., Staebler, A., Happel, A., Márquez, M.A.C., Abadias, I.A.M., Gallur, M., Cigognini, I.M., Montanari, A., López, M.J., Brunton, F.S.N., Luengo, E., Sisti, L., Ferri, M., Belotti, G. **2017**. Processing, Valorization and Application of Bio-Waste Derived Compounds from Potato, Tomato, Olive and Cereals: A Review. *Sustainability*, 9 (8), 1492. <https://doi.org/10.3390/su9081492>

[8] Yaashikaa, P.R., Kumar, P.S., Saravanan, A., Varjani, S., Ramamurthy, R. **2020**. Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy. *Sci Total Environ*. 15 (748), 141312. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141312

[9] Sharma, P., Gaur, V.K., Sirohi, R., Varjani, S., Kim, S.H., Wong, J.W.C. **2021**. Sustainable processing of food waste for production of bio-based products for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 325, 124684. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124684>

[10] Ravindran, B., Karmegam, N., Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Chang, S.W., Zhang, Z., Awasthi, M.K. **2021**. Cleaner production of agriculturally valuable benignant materials from industry generated bio-wastes: A review. *Bioresour Technol*. 320, 124281. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124281.

[11] Li, Y., Xu, Y., Xue, Y., Yang, S., Cheng, Y., Zhu, W. **2022**. Ethanol production from lignocellulosic biomass by co-fermentation with *Pecoramyces* sp. F1 and *Zymomonas mobilis* ATCC 31821 in an integrated process, *Biomass and Bioenergy*, 161, 106454. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106454>.

[12] Amalina, F., Razak, A.S.A., Krishnan, S., Zularisam, A.W., Nasrullah, M. **2022**. A comprehensive assessment of the method for producing biochar, its characterization, stability, and potential applications in regenerative economic sustainability – A review. *Cleaner Materials*, 3, 100045. DOI: 10.1016/j.clema.2022.100045

[13] Yahya, M.A., Al-Qodah, Z., Zanariah Ngah, C.W., **2015**. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 218-235.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051>

[14] Cansado, I.P.P., Belo, C.R., Mourão, P.A.M. **2017**. Valorisation of *Tectona Grandis* tree sawdust through the production of high activated carbon for environment applications. *Bioresour Technol.*, 249, 328-333. doi: 10.1016/j.biortech.2017.10.033.