

Monitorização do processo de compostagem do jacinto-de-água

Monitoring of water hyacinth composting process

Verónica Oliveira^{1,2,*}, Edite Rodrigues³, Rosinda Leonor Pato^{2,4},
Maria Filomena Miguens^{2,4} & Daniela Santos^{2,4}

¹ Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto de Investigação Aplicada, S. Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal

² Centro de Recursos Naturais Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal

³ Colina Generosa Lda., Coimbra, Portugal

⁴ Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária, Bencanta, 3045-601, Coimbra, Portugal

(*E-mail: veronica.oliveira@ipc.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.33406>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

RESUMO

A valorização do resíduo de jacinto-de-água (planta aquática invasora) através da compostagem, após a sua remoção dos leitos hídricos, apresenta vantagens ambientais e agronómicas. Este trabalho tem por objetivo a avaliação e caracterização do processo de compostagem do jacinto-de-água com diversos subprodutos gerados na Região Centro (bagaço de azeitona, casca e restos de batata, estilha florestal, estrume de bovino, palha de arroz e biochar). É apenas uma das atividades desenvolvidas no projeto BioComp_2.0 (I&DT em copromoção), sendo apresentados os resultados da compostagem com reviramentos cíclicos de 6 pilhas ($V=16\text{ m}^3$), construídas com diferentes proporções de jacinto-de-água. A maturação dos compostos foi completada ao fim de 243-251 dias. Todas as pilhas registaram por mais de uma vez temperaturas $> 55\text{ }^\circ\text{C}$ e durante várias semanas, à exceção de uma que atingiu esta temperatura apenas durante 24 horas. Os teores médios de humidade variaram entre 52%-67% e o pH entre 5,3-9,5, garantindo as condições para boa atividade microbiana, higienização e inviabilização de sementes e propágulos. A relação C/N dos compostos finais situa-se entre 11-16, valores característicos da presença de substâncias húmicas. Os parâmetros físico-químicos indicam boa qualidade do composto orgânico para uso agrícola, seguindo-se os ensaios de eficácia agronómica para a validação e classificação qualitativa do mesmo.

Palavras-chave: Economia circular, humificação, razão C/N, valorização de resíduos de produção.

ABSTRACT

The valorisation of the water hyacinth waste (invasive aquatic plant) through composting, after its removal from the waterbeds, presents environmental and agronomic advantages. This work presents the evaluation of the composting process of water hyacinth with several by-products generated in the Central Region (olive pomace, potato peel and remains, forestry chips, cattle manure, rice straw and biochar). It is one of the activities developed in the BioComp_2.0 project, being presented the results of the composting with cyclic turning of 6 piles ($V=16\text{ m}^3$) with different proportions of water hyacinth. Compost maturation was completed after 243-251 days. All piles recorded temperatures $> 55\text{ }^\circ\text{C}$ more than once for several weeks, except one that reached this temperature for only 24 hours. Average moisture contents varied between 52%-67% and pH between 5.3-9.5, guaranteeing the conditions for good microbial activity, sanitation and becoming seeds and propagules unviable. The C/N ratio of the final composts is between 11-16, values characteristic of humic substances. The physicochemical parameters indicate good quality of the organic compost for agricultural use, followed by agronomic efficiency tests for its validation and qualitative classification.

Keywords: Circular economy, humification, C/N ratio, waste recovery.

INTRODUÇÃO

O jacinto-de-água [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms] é uma planta aquática e flutuante, que apresenta um desenvolvimento acelerado em cursos de água eutróficos, situação proporcionada pela poluição de efluentes urbanos, agrícolas e industriais. De acordo com Tibebe *et al.* (2022), o jacinto-de-água pode crescer 1,9% ao dia. Em Portugal, o jacinto-de-água é considerado uma espécie exótica invasora pelo Decreto-Lei nº 92/2019 (Presidência do Conselho de Ministros, 2019) e está presente em quase todas as regiões do continente (Pádua *et al.*, 2022). É também uma das 41 espécies exóticas invasoras que preocupam a União Europeia (União Europeia, 2014). A extensa presença do jacinto-de-água nos ecossistemas aquáticos tem provocado graves consequências, interferindo no uso da água para a rega e pecuária, navegação e atividades recreativas e, não menos importante, causando o bloqueio de canais e rios, podendo provocar inundações (Singh & Kalamdhad, 2015). Além disso, essa espécie origina grandes massas de material em decomposição, deteriorando a qualidade dos recursos hídricos e ameaçando a permanência das espécies nativas. O seu controle mecânico tem acarretado elevados custos às autarquias e Proteção Civil. No entanto, os esforços não têm surtido soluções totalmente eficazes, quer no controlo da propagação do jacinto-de-água, quer na redução dos custos económicos, sociais e ecológicos.

A transformação dos resíduos de jacinto-de-água em composto orgânico para aplicações agrícolas é uma das possíveis soluções que pode ser adotada para reduzir os problemas causados por esta espécie invasora. A compostagem é um processo de decomposição aeróbica de resíduos orgânicos, realizada por microrganismos, produzindo matéria orgânica estável, constituída por uma mistura de várias substâncias húmicas, designada húmus. No processo de compostagem distinguem-se dois períodos principais: a *degradação* e a *humificação*. No primeiro período, há atividade microbiana vigorosa durante a qual os materiais orgânicos facilmente degradáveis são decompostos. No segundo período, há um menor nível de atividade microbiana e maior síntese dos compostos orgânicos simples resultantes do primeiro período (Trautmann e Krasny, 1997), ocorrendo a formação de substâncias húmicas.

Para que o processo de compostagem decorra de forma satisfatória há um conjunto de condições favoráveis que deverão ser conferidas idealmente logo ao início do processo, quando da constituição e construção da pilha de resíduos orgânicos a compostar: o teor de humidade e a razão carbono/azoto (C/N) da biomassa inicial, assim como a dimensão da pilha e respetivas proporções (largura, comprimento e altura). Ao longo do processo há um conjunto de parâmetros físico-químicos a monitorizar, os quais permitem perceber se as condições ideais para a melhor atividade dos microrganismos estão a ser mantidas e, se tal não se verificar, poder haver a intervenção corretiva oportuna; bem como permitirem a informação sobre a ocorrência das condições necessárias para assegurar a inviabilização de organismos patogénicos, de sementes e propágulos (Brito, 2007; Trautmann e Krasny, 1997; Inácio e Miller, 2009).

O estudo aqui apresentado e que decorreu no âmbito do projeto BioComp_2, tem como objetivo avaliar o desempenho do processo de compostagem de seis misturas constituídas por diferentes proporções de resíduo de jacinto-de-água e diferentes materiais orgânicos excedentes na região Centro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados como biomassa constituinte das pilhas de compostagem encontram-se descritos no Quadro 1. Estes materiais foram recolhidos na região Centro e não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento prévio para serem utilizados nas pilhas de compostagem.

Quadro 1 - Composição das pilhas de compostagem (x: indica que o respetivo material foi utilizado na composição da respetiva pilha)*

Materiais	Pilha 1	Pilha 2	Pilha 3	Pilha 4	Pilha 5	Pilha 6
Bagaço de azeitona	x	x	x	x	-	x
Biochar	-	-	-	x	-	-
Casca de batata	x	-	-	-	-	x
Estilha florestal	-	-	-	x	x	-
Estrume de vacas leiteiras	-	x	-	-	-	-
Jacinto-de-água	x	x	x	x	x	x
Palha de arroz	-	-	x	-	-	x
Restos de batata inteira	-	x	x	-	-	-

*Por motivos de confidencialidade, a percentagem de cada material na pilha não pode ser divulgada.

Foram construídas 6 pilhas de compostagem cujas dimensões respeitaram as proporções recomendadas por Román *et al.* (2015), resultando em pilhas com volume de 16 m³ (L= 3 m; A= 1,8 m; C= 6 m), com exceção da pilha 3, cujo volume foi de 15 m³. Os materiais utilizados foram recolhidos com conteúdo de 1 m³ para serem pesados e determinados os volumes totais de cada material por cada pilha, à medida que eram construídas as mesmas. Para tal foram previamente simuladas as proporções de cada material por pilha (software Cornell Composting, 2014), respeitando as condições ótimas de humidade (entre 50 a 70%) e razão C/N (entre 30 a 40) para o início da compostagem, resultando em 6 composições diferentes, sendo o resíduo de jacinto-de-água o material comum presente em maior proporção em todas as pilhas. Com estas composições pretendeu-se perceber se a quantidade do resíduo de jacinto-de-água utilizada na pilha (que variou entre 30% a 70%) e/ou as composições de cada pilha, permitirão que o processo de compostagem decorra sob as condições que permitem resultar em compostos orgânicos de qualidade.

O processo de compostagem prolongou-se por um período ligeiramente variável entre pilhas, de 243 a 251 dias. Cada pilha foi revolvida 10 vezes (Figura 1), prática que permite o bom arejamento, o controle da temperatura (a qual não deve ultrapassar valores superiores a 70 °C) e melhora a mistura dos materiais com granulometrias diversas. Tal permite uma melhor homogeneização ao longo do tempo, porque os materiais vão ganhando superfície específica de ataque pelos microrganismos, aumentando a eficácia do processo tanto no primeiro período de decomposição como no posterior período de síntese das moléculas orgânicas que estabilizam como húmus.

Foram monitorizados os parâmetros de temperatura e humidade a cada 48 horas, a uma profundidade de 50 cm na pilha, em oito pontos por pilha, utilizando uma sonda termo-higrómetro (Schaller, humimeter FL2, Austria). O pH foi determinado a cada 21 dias, com a toma de 100 g de amostra nos oito pontos. A monitorização da temperatura e humidade permitiram fazer as intervenções pontuais necessárias para acertar a humidade de modo que se mantivesse próxima dos 60% e baixar a temperatura sempre que ultrapassasse os 70 °C. Concluído o processo de compostagem, os compostos

orgânicos foram analisados para a determinação do pH e teores de C e N para a obtenção da razão C/N. O pH foi determinado de acordo com a norma europeia EN 13037:2009. O teor de C foi determinado por combustão a 590 °C (durante 60 a 400 segundos), de acordo com a norma EN 15936-2012 e o teor de N pelo método de Kjeldahl (Bremner, 1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Monitorização da temperatura e da humidade

De acordo com Inácio e Miller (2009), a produção de calor como resultado da atividade microbiana é o “motor” da compostagem e o modo como se dá a transferência desse calor irá ditar as necessidades de arejamento (para promover maior oxigenação do processo) ou de água (para repor a humidade perdida). O balanço de calor produzido e perdido é sempre positivo, o que significa que haverá acumulação de calor dentro da pilha. As perdas de calor dão-se na forma de calor sensível com a saída dos gases, na forma de calor latente com a evaporação da água, perdas por condução, convecção e radiação. As pilhas mais pequenas ou com maior relação superfície/volume (baixas e largas) tendem a perder mais calor. A principal forma de perda de calor das pilhas de compostagem é a saída ascendente do vapor de água, havendo maior concentração de calor a cerca de 20 cm do topo, antes de ser libertado. É assim mantido um fluxo contínuo de entrada de ar pelas paredes laterais, que se mantém menos quentes, em direção ao centro, com subida para o topo, a partir do qual é libertado em maior quantidade.

Muitos autores indicam temperaturas que não devem ultrapassar os 55 °C para se evitar grande perda de azoto e a inibição da atividade dos microrganismos termófilos. Por outro lado, a manutenção de temperaturas elevadas por períodos de 48 a 72 h (acima de 65 °C) é uma condição necessária para manter o fluxo eficaz de ar e para a higienização do composto final. Nas pilhas revolvidas, o processo de reviramento provoca sempre uma queda abrupta na temperatura, mas em simultâneo, aumenta o arejamento que irá estimular novamente a atividade microbiana, recuperando rapidamente as temperaturas elevadas, desde que o teor de humidade esteja entre 50 a 70% (Inácio e Miller, 2009).

Os gráficos apresentados na Figura 1, que representam a evolução dos valores médios de temperaturas e humidade nas seis pilhas, confirmam que por cada revolvimento, assinalado com as setas, há um decréscimo eficaz da temperatura, acompanhado de um aumento da humidade porque as pilhas eram humedecidas antes e após os reviramentos, assegurando-se uma distribuição homogénea da água em toda a biomassa da pilha. O padrão de desenvolvimento das pilhas permite concluir que as temperaturas e humidade evoluíram sempre de forma oposta ou em contra-ciclo (Figura 1).

Os valores máximos de temperatura atingidos foram: 69 °C -pilha 1; 73,6 °C -pilha 2; 72,8 °C -pilha 3; 68,3 °C -pilha 4; 56 °C -pilha 5; 69,8 °C -pilha 6; sendo que as maiores temperaturas aconteceram entre a fase inicial e até cerca de 150 dias após o início do processo (fase termófila). A partir dos 150 dias, as temperaturas máximas passaram a ser mais baixas, indicando que a atividade microbiana estava a abrandar, a caminho de uma estabilidade (início da fase mesófila), aproximando-se as temperaturas das pilhas à temperatura ambiente ao fim de 240-245 dias (Figura 1). É de destacar o reduzido valor das temperaturas máximas atingidas pela pilha 5, a qual se manteve um longo período numa fase de

pouca atividade (fase mesófila), iniciando a fase termófila por volta do dia 90, estabilizando a partir do dia 160 e finalizando no dia 246 à temperatura ambiente. A branda atividade microbiológica desta pilha era expectável porque tem a constituição mais fibrosa, pobre em polissacáridos e/ou proteínas, apenas resíduos de jacinto-de-água e estilha florestal, sendo a mistura com maior razão C/N ao início do processo. As temperaturas máximas mais altas foram registadas na pilha 2, cuja constituição contém também estrume bovino, o que se espera ser um excelente contributo para enriquecer a massa microbiana dos compostos e, assim, aumentar a diversidade biológica dos solos.

Os teores de humidade máxima foram: 71% -pilha 1; 74,8% -pilha 2; 71% -pilha 3; 68,6% -pilha 4; 80,2% -pilha 5; 67,5% -pilha 6. Os teores mínimos de humidade foram sempre superiores a 43%, registados nos momentos em que as temperaturas atingiam picos máximos, sendo as pilhas regadas e revolvidas quando atingidas estas condições limite. Mais uma vez é a pilha 5 que apresenta uma evolução diferenciadora, com teores de humidade sempre acima de 55% e concluindo o processo de compostagem com humidade de 80%. A manutenção natural do maior teor de humidade exerceu grande controlo sobre a temperatura, impedindo que a mesma chegasse aos valores ótimos de 65-70 °C para garantir a inviabilização de eventuais órgãos reprodutores do próprio jacinto-de-água.

Monitorização do pH

A atividade microbiana no processo de compostagem é influenciada pelo pH do meio, uma vez que as diferentes espécies de microrganismos apresentam a sua atividade ótima em diferentes intervalos de pH. Segundo Inácio e Miller (2009), o pH médio deve situar-se entre 5 e 7, de forma a assegurar um meio com condições satisfatórias para a atividade microbiana. Já outros autores mencionam que, na fase termófila, o intervalo de pH entre 6,5 a 9,6 é mais adequado para o desenvolvimento dos microrganismos (Epstein, 1997). No presente estudo, as amostras colhidas a cada três semanas nas seis pilhas de compostagem, mostraram que os valores de pH mínimo e máximo foram, respetivamente: 5,3 e 9,0 -pilha 1; 7,3 e 9,5 -pilha 2; 7,5 e 9,0 -pilha 3; 7,3 e 8,6 -pilha 4; 8,2 e 9,0 -pilha 5; 6,2 e 9,1 -pilha 6;

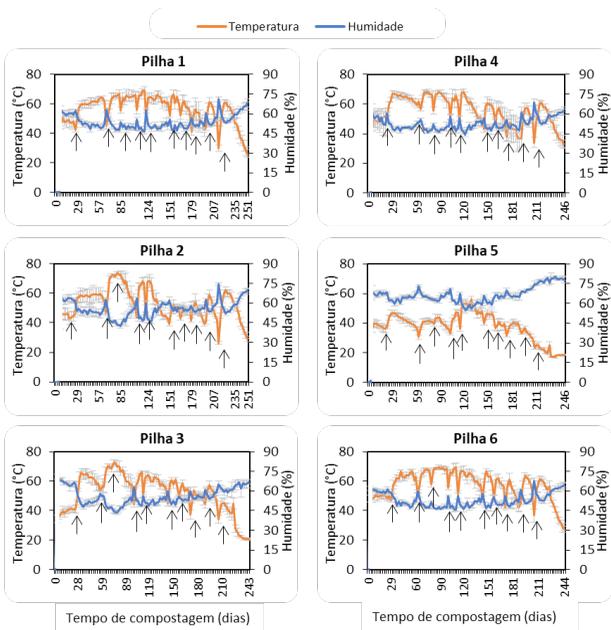


Figura 1. Evolução da temperatura e humidade (valores médios dos oito pontos de monitorização) durante o processo de compostagem (as setas representam os revolvimentos precedidos de humedecimento das pilhas; as barras de erro representam o desvio padrão).

de acordo com a Figura 2. É de notar, que à exceção da pilha 5, todas as pilhas mostraram uma evolução similar do pH durante todo o período de compostagem (Figura 2), sendo de destacar que as subidas de pH são coincidentes com os aumentos da temperatura durante o processo da compostagem (Figura 1) e que há maior variação de valores no início do processo, reduzindo a variação à medida que a constituição das pilhas se vai homogeneizando (Figura 2). O pH final registado em todas as pilhas encontra-se dentro do intervalo considerado adequado e esperado para um composto orgânico e sem grande variação aparente entre as diferentes amostras tomadas por pilha.

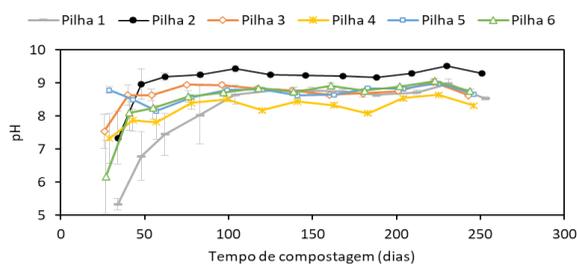


Figura 2 - Evolução do pH (valores médios dos oito pontos de monitorização) durante o processo de compostagem (as barras de erro representam os valores do desvio padrão).

Razão C/N dos compostos finais

A relação C/N é um dos parâmetros mais importantes para a atividade microbiana e consequentemente para o processo de compostagem, influenciando o tempo necessário para uma completa decomposição ou humificação (Inácio e Miller, 2009). No presente estudo, e seguindo o recomendado por Inácio e Miller (2009), a composição pré-definida para as pilhas com recurso ao software *Cornell Composting*, resultou em razões C/N inicial entre 30 a 40, assegurando as condições ótimas para o início do processo de compostagem. Como esperado, durante o processo de compostagem, houve uma diminuição da relação C/N, tendo-se obtido no final compostos orgânicos com uma razão C/N de 12,35 -pilha 1; 12,56 -pilha 2; 10,88 -pilha 3; 15,60 -pilha 4; 14,15 -pilha 5; 11,04 -pilha 6. Estes valores situam-se dentro

do intervalo ideal recomendado pela FAO (2015), que refere que os compostos orgânicos devem apresentar valores de razão C/N entre 10 a 15, típicos da presença de substâncias húmicas, o que indica poderem ser eficazes no rápido aumento do teor de matéria orgânica estável no solo.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a evolução dos parâmetros físico-químicos monitorizados nas pilhas e os valores atingidos na sua estabilização final, indicam terem ocorrido as condições ideais em quase todas as pilhas, para que o processo de compostagem decorresse de forma satisfatória. Apenas a pilha de constituição mais simples (resíduo de jacinto-de-água e estilha florestal) mostrou não atingir as condições necessárias de temperatura para assegurar uma boa higienização do composto final. Deste modo, apesar de moroso, o processo de compostagem revela-se uma alternativa eficaz a ser utilizada na valorização dos resíduos do jacinto-de-água, uma vez que transforma a sua biomassa em corretivo da matéria orgânica do solo, constituindo um bom contributo para os solos nacionais maioritariamente carentes em matéria orgânica. A etapa seguinte é a realização de ensaios de eficácia agronómica para a validação e classificação qualitativa dos compostos orgânicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto BioComp_2.0 - Produção de compostos orgânicos biológicos para o controlo do jacinto de água e para a valorização de subprodutos agropecuários, florestais e agroindustriais (POCI-01-0247-FEDER-070123), financiado pelo Compete 2020, Portugal 2020 e UE através do FEDER. Os investigadores agradecem à FCT, I.P., no âmbito do projeto CERNAS (UIDB/00681/2020), pelo apoio financeiro concedido para a apresentação da comunicação deste trabalho. Verónica Oliveira agradece o financiamento nacional da FCT, I.P., ao contrato-programa institucional de emprego científico (CECCINST/00077/2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bremner, J.M. (1979) - Total Nitrogen *In: Methods of Soil Analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 5th edition. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA. p. 1149-1178.
- Brito, L.M.C.M. (2007) - *Manual de Compostagem da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima.* Escola Superior Agrária, Instituto Superior de Viana do Castelo.
- Cornell Composting: Scientific and Engineering (2014) - *Software Compost Mixture Calculation Spreadsheet.* MS Excel 2010 (updated March 2014).
- Epstein, E. (1997) - *The science of composting.* Lancaster: Technomic Publishing, 493p.
- Román, P.; Martínez, M.M. & Pantoja, A. (2015) - *Farmer's compost handbook.* FAO. E-ISBN 978-92-5-107845-7, 112 p.
- Inácio, C.T. & Miller, P.R.M (2009) - *Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos.* Embrapa Solos, RJ. ISBN 85-85864-31-6, 154 p.
- Pádua, L.; Antão-Geraldes, A M.; Sousa, J. J.; Rodrigues, M. A.; Oliveira, V.; Santos, D.; Miguens, M. F. P.; Castro, J. P. (2022) - Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Detection Using Coarse and High Resolution Multispectral Data. *Drones*, vol. 6, art. 47. <https://doi.org/10.3390/drones6020047>
- Presidência do Conselho de Ministros (2019) - Decreto-Lei n.º 91/2019 de 10 de julho. *Diário da República.* 1.^a série - N.º 130 – 10 de julho de 2019.
- Singh, J. & Kalamdhad, A. S. (2015) - Assessment of compost quality in agitated pile composting of water hyacinth collected from different sources. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 4, p. 175-183. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0097-z>
- Tibebe, D; Jembere, K.; Kidie, A.; Adugna, M.; Alem, T. & Teshome, G. (2022) - Compost preparation, chemical analyses and users' perception in the utilization of water hyacinth, Ethiopia. *BMC Chemistry*, vol. 16, art. 56. <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00851-9>
- Trautmann, N. & Krasny, M. (1997) - *Composting in the Classroom: Scientific Inquiry for High School Students.* Cornell University.
- União Europeia (2014) - Regulation (EU) n° 1143/2014 of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the Prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species. *Official Journal of the European Union.* L 317/35.