

III-1218 - SOLUÇÕES DE AERAÇÃO E VENTILAÇÃO EM COMPOSTEIRAS DOMÉSTICAS: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E OPERACIONAIS

Jacqueline Rogéria Bringhenti ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP). Docente do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Kátia Broetto Miller ⁽²⁾

designer pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de Brasília. Docente do Curso de Design da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e participação no Programa de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Adli Steiner Santos ⁽¹⁾

Graduanda de Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Lucas Campos Barbosa dos Reis ⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestrando em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES).

Endereço ⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - Espírito Santo - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: +55 (27) 3331-2237 - e-mail: jacquelineb@ifes.edu.br - e-mail: adlisteiner@gmail.com.

RESUMO

A compostagem é uma técnica que acelera a biodegradação restos orgânicos a partir de rotinas de operação e controle de diversos parâmetros como a aeração e ventilação, fundamentais para fornece oxigênio e remove calor, excesso de umidade, dióxido de carbono e outros produtos da decomposição. No caso da compostagem doméstica com uso de composteiras artesanais ou industrializadas a insuficiência e/ou falhas nas soluções para aeração e ventilação acarretam problemas, como odores, que podem levar a descontinuidades da sua utilização. Este trabalho objetivou avaliar soluções de aeração e ventilação utilizadas nas composteiras domésticas, com base em pesquisa de mercado, como contribuição para definição dos requisitos de projeto para novos modelos. Como estratégia metodológica foi elaborado instrumento para coleta de dados e definido critério de busca, seguido do levantamento de modelos de composteiras domésticas comercializadas no mercado e coleta de dados com uso de planilha que embasou a análise e discussão dos resultados de forma comparativa. Foram selecionadas 40 composteiras, com fabricantes distribuídos em oito países para estudo. Como principais resultados foram levantadas seis soluções para aeração e ventilação que foram agrupados: com uso de revolvimento manual, mecânico ou aeração forçada (ativa) e/ou com uso de orifícios externos, tubos perfurados (passiva). Na maioria dos artefatos avaliados não foi observada mecanismos para direcionar o fluxo do ar a caminhos preferenciais visando explorar o potencial de aeração passiva, existindo o uso de recursos combinados para otimizar tais parâmetros. Composteiras oferecem maior praticidade aos usuários por minimizar ou eliminar a necessidade de revolvimento, como a vermicompostagem, tem ganhado espaço no mercado apesar de possuírem gargalos operacionais. Conclui-se que as possibilidades de uso de funcionalidades relacionadas a aeração e ventilação ainda são pouco exploradas nos artefatos disponíveis no mercado, bem como que os elementos listados e identificados neste estudo podem ser utilizados para especificar requisitos de projeto no desenvolvimento de modelos com operação mais amigável e contribuam na disseminação desta prática sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos orgânicos, compostagem, composteira, aeração, ventilação.

INTRODUÇÃO

A compostagem é a decomposição aeróbica de materiais orgânicos por microrganismos sob condições controladas. Durante o processo, os microrganismos consomem oxigênio (O₂) enquanto se alimentam de matéria orgânica, gerando calor e liberando dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água no ar, principalmente durante a fase ativa. As perdas de CO₂ e água podem chegar à metade do peso dos resíduos orgânicos (RO) adicionados no início do tratamento, reduzindo assim o volume e a massa do produto final e sendo uma alternativa sustentável de desvio dos RO dos aterros sanitários (PACE *et al.*, 1995).

Sendo um tratamento biológico aeróbico, a compostagem necessita de quantidades adequadas de oxigênio, principalmente durante os estágios iniciais de maturação dos RO, de modo a prevenir a anaerobiose que torna o processo muito mais lento e odorífero. Uma concentração mínima de oxigênio de 5% dentro dos poros do composto é necessária para a compostagem aeróbica (PACE *et al.*, 1995). Tais condições operacionais podem ser promovidas por meio de aeração passiva ou natural (ventilação e/ou uso de minhocas) ou ativa (revolvimento e/ou sistema automatizado).

Assim, a aeração e a ventilação são fatores determinantes para garantir a concentração mínima de oxigênio no processo de compostagem, sendo que seu desempenho depende do tipo de compostagem utilizada bem como da sua escala (centralizada ou descentralizada). Glicerio Dazzi *et al.* (2021) destacam a compostagem doméstica como principal solução descentralizada e de pequena escala para atender ambientes domésticos e institucionais.

Solino (2018), descreve a composteira doméstica como sendo um recipiente fechado, com pequenos orifícios laterais para circulação de oxigênio, usado para a biodegradação controlada dos RO e produção de composto e biofertilizante, minimizando riscos de atrair roedores e insetos, além de restringir o acesso por animais domésticos.

No caso da compostagem com uso de composteiras artesanais ou adquiridas no mercado (domésticas) com operação manual, o controle de aspectos como a aeração e a ventilação é empírico. A rotina de revolvimento manual periódico dos RO tratados é adotado como solução de aeração e demanda tempo e dedicação do usuário, eventuais falhas podem resultar em problemas operacionais como odores e descontinuidades na prática de tratar os RO local de geração. Portanto, o presente trabalho avaliou soluções de aeração e ventilação utilizadas nas composteiras domésticas, com base em pesquisa de mercado para identificação de problemas existentes e requisitos de projeto para novos modelos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em três etapas metodológicas, como segue:

PRIMEIRA ETAPA: INSTRUMENTO PARA COLETA DE DADOS

Envolveu a elaboração de planilha de apoio para coleta de dados, utilizando a software Excel versão Office 365, contendo parâmetros (variáveis) e opções de respostas (categorização) elaboradas com base em pesquisa bibliográfica prévia acerca do tratamento de RO via compostagem, requisitos e soluções para aeração e ventilação do processo, composteira doméstica e princípios de ventilação passiva. Foi realizado um pré-teste com o instrumento e após ajustes foram definidos critérios listados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros utilizados na coleta de dados acerca das soluções para aeração e ventilação em composteiras disponíveis no mercado.

DESCRIÇÃO	PARÂMETROS/VARIÁVEIS LEVANTADAS
Características físicas	<ul style="list-style-type: none"> . Fabricante . Local de origem . Material de fabricação . Formato . Capacidade . Dimensões . Peso . Cor(es)
Características operacionais	<ul style="list-style-type: none"> . Existência de abertura distintas para alimentação e retirada do composto . Posição e funcionamento da tampa . Existência de dreno para retirada do chorume
	<ul style="list-style-type: none"> . Existência de orifícios para direcionar a entrada de ar

Soluções para Ventilação	<ul style="list-style-type: none"> . Geometria dos orifícios para direcionar a entrada de ar . Existência de solução para evitar o entupimento dos orifícios . Área dos Orifícios para entrada de ar . Quantidade de Orifícios para entrada de ar . Área relativa para troca de ar/face da composteira . Existência de tubos de ventilação no Interior da composteira . Material dos tubos Internos . Existência de Entrada e Saída de ar definida
Soluções para Aeração	<ul style="list-style-type: none"> . Formas de aeração utilizadas . Existência de mecanismo de aeração automatizada
Outras características	<ul style="list-style-type: none"> . Existência de sistema de aquecimento . Conectividade/ capacidade de ser monitorada ou operada à distância . Existência de filtro/dispositivo para remoção de odor . Existência de dispositivo de para trituração . Período de Estabilização dos Resíduos (obter composto) . Solução para proteção contra Vetores . Mobilidade . Utiliza acelerador de compostagem . Interação entre usuários/ divulgação das avaliações

Fonte: Os autores, 2022.

SEGUNDA ETAPA: LEVANTAMENTO DE MODELOS DE COMPOSTEIRAS DOMÉSTICAS COMERCIALIZADAS NO MERCADO E COLETA DE DADOS COM USO DE PLANILHA

Esta etapa foi realizada por meio de buscas realizadas pela internet, em sites nacionais e internacionais utilizando os termos busca “composteiras domésticas” e “home composters”. Como critério de inclusão das composteiras encontradas considerou-se equipamentos projetados ou com indicação para uso em ambientes domésticos, sendo dada preferência a sites de fabricantes por possuírem informações mais detalhadas. Em seguida foram coletados os dados e informações referentes aos modelos selecionados para alimentar a planilha elaborada.

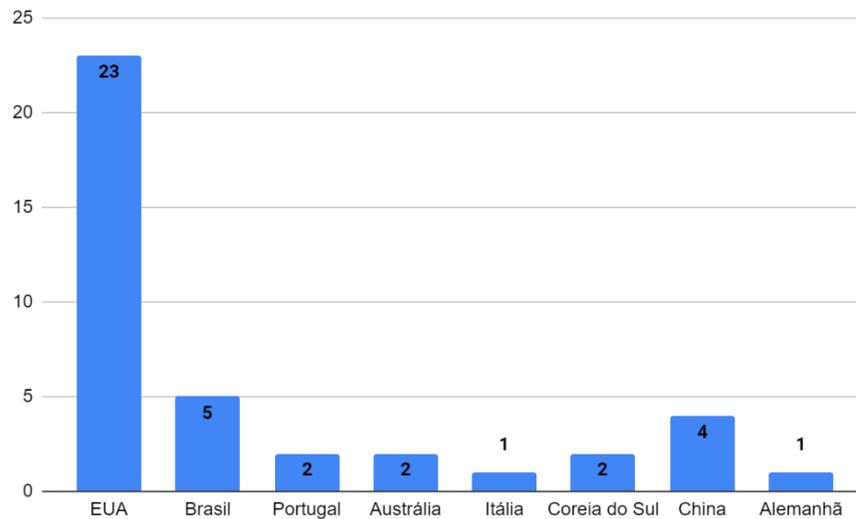
TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos foi feita a estruturação dos dados na forma de quadro comparativo, com a finalidade de facilitar a sua visualização e comparação como base para avaliar as soluções utilizadas para ventilação e aeração em composteiras domésticas, bem como suas variações visando a proposição de melhorias com base nos exemplos estudados.

RESULTADOS OBTIDOS

A pesquisa de mercado resultou na seleção de 40 composteiras domésticas para análise, com fabricantes distribuídos em oito países sendo a maioria dos Estados Unidos (EUA), seguido do Brasil como ilustrado na Figura 01.

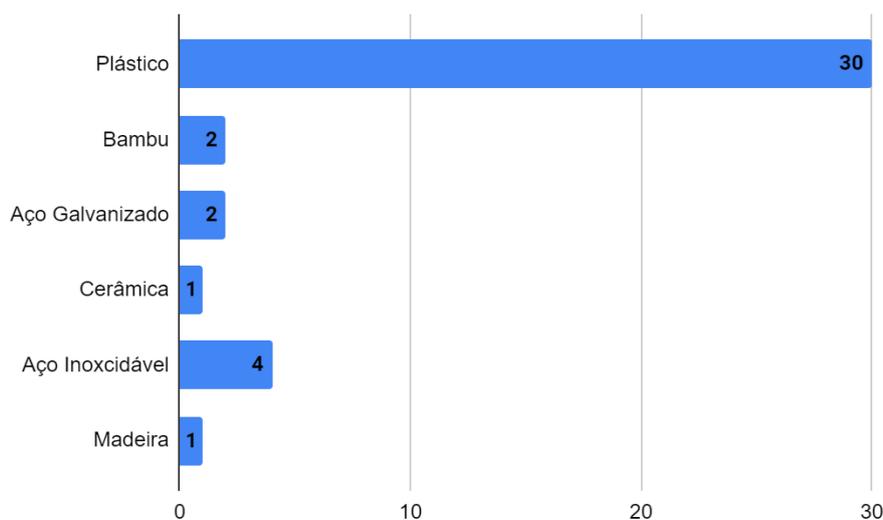
Figura 01 - Distribuição das composteiras avaliadas segundo país de origem dos fabricantes.



Fonte: Os autores, 2022.

O material de fabricação das composteiras domésticas, além de conferir segurança e durabilidade, é um dos critérios considerados pelos consumidores na aquisição desta, estando relacionado com a estética e o peso do equipamento. Foram identificados 6 diferentes materiais nos modelos avaliados, sendo 30/40 fabricadas com uso de polímeros (Figura 2).

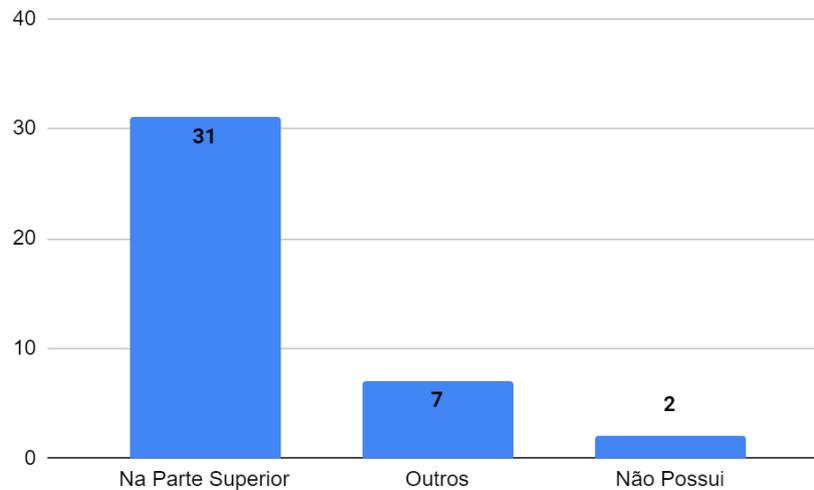
Figura 2 - Material utilizado na fabricação das composteiras.



Fonte: Os autores, 2022.

Durante a operação de uma composteira o usuário precisará manusear com frequência a abertura para colocação dos RO (alimentação), geralmente protegida por uma tampa que pode ter diversos formatos e atuar como um elemento de ventilação. A posição da abertura e da tampa também foi levantada e em 77,5% da amostra a tampa era na parte superior (Figura 3). Nas composteiras cujo corpo gira em torno de um eixo, a abertura para colocar RO é protegida por uma porta com travamento e a sua posição varia com a movimentação do reator, esse grupo foi classificado como “Outros”.

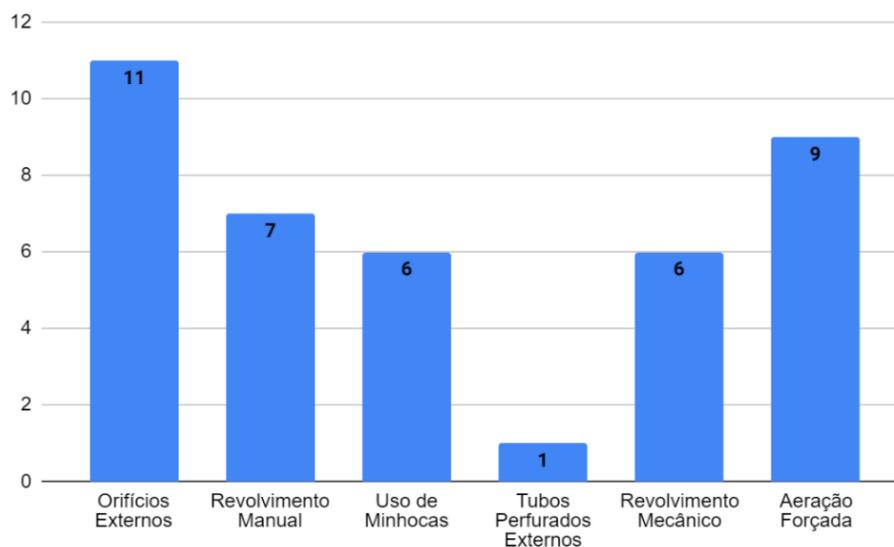
Figura 3 – Distribuição das composteiras segundo posição da abertura de alimentação.



Fonte: Os autores, 2022.

Avaliando as composteiras selecionadas quanto a aeração foram identificadas seis soluções (Figura 4).

Figura 4 – Distribuição das soluções de aeração utilizadas nas composteiras avaliadas.



Fonte: Os autores, 2022.

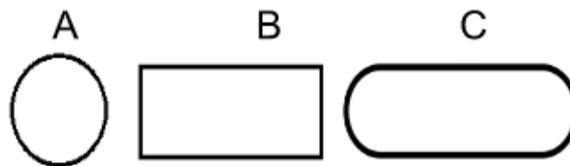
O revolvimento é a solução clássica para aeração ativa da massa de RO tratados via compostagem e foi identificado em 55,0 % dos modelos avaliados (manual, mecânico ou aeração forçada), entretanto equipamentos com aeração passiva podem trazer comodidade aos usuários e tem ganhado espaço como é o caso do uso de minhocas (vermicompostagem) e de componentes que facilitem a entrada de oxigênio (ventilação).

Além do tipo de aeração, o posicionamento e a geometria dos orifícios para a entrada e saída do ar também exercem influência na concentração de oxigênio na compostagem, estando relacionados à dinâmica de ventilação da composteira. Foi identificado o uso de três diferentes formatos na ventilação dos modelos estudados (Figura 5).

Figura 5 – Formatos dos orifícios de ventilação identificados nas composteiras avaliadas.



Fonte: (A) Utopia Kitchen; (B) Algreen; (C)Tierra Garden.



(A): Orifício circular. (B): Orifício retangular. (C): Oblongo.

Também foram observados três posicionamentos diferentes para os orifícios de entrada e saída do ar (Figura 6).

Figura 6 – Imagens de composteiras avaliadas e dos orifícios de ventilação utilizados.

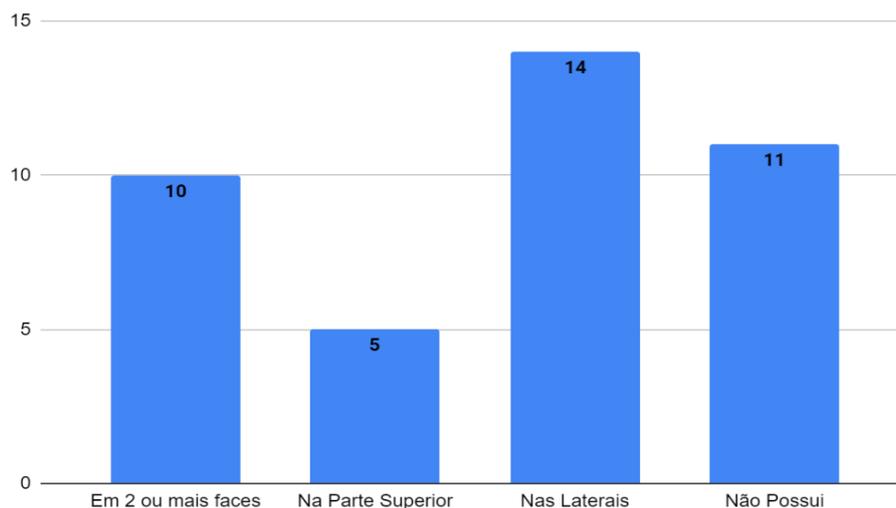


(A): Orifícios em 2 ou mais faces. (B): Orifícios na parte superior. (C): Orifícios nas laterais. (D): Sem orifícios.

Fonte: (A) Redmon; (B) Utopia Kitchen; (C) Good Ideas (D). TMK

Teve a predominância dos orifícios nas laterais (14/40) e em 2 ou mais faces da composteira (Figura 7), com uso do formato circular (Figura 8).

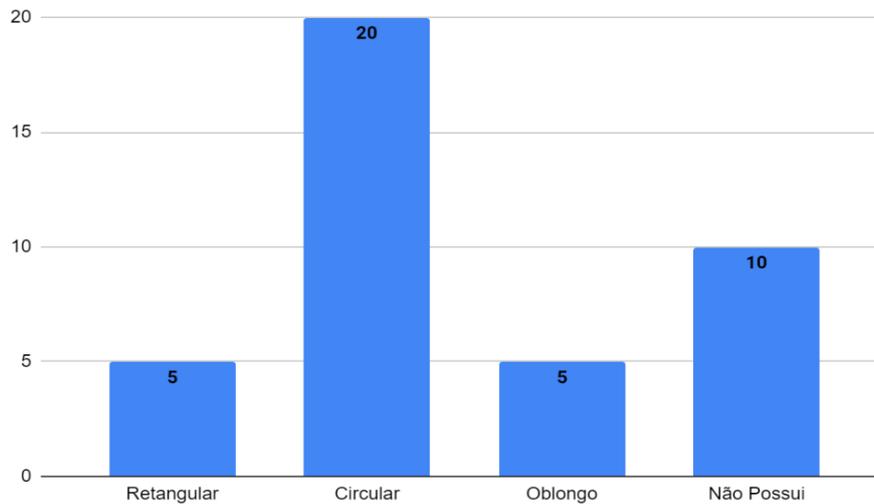
Figura 7 - Posicionamento dos orifícios para entrada de ar nas composteiras



Fonte: Os autores, 2022.

Destaca-se ainda que na maioria dos modelos avaliados não foi identificada pontos de entrada e saída de ar definidos. Os modelos com mecanismo de aeração forçada (22,5%) foram considerados composteiras com entrada e saída de ar definida uma vez que possuem locais específicos para tal finalidade, enquanto nas demais (77,5%) o fluxo do ar pode ocorrer por diferentes caminhos e com uso de recursos combinados.

Figura 8 - Geometria dos orifícios de ventilação das composteiras.



Fonte: Os autores, 2022.

A maior parte das composteiras avaliadas são de fabricantes americanos e do Brasil e o quadro 2 permite comparar as características das soluções adotadas.

Quadro 2 - Soluções de aeração e ventilação de composteiras segundo o local de origem do fabricante.

Local de origem do fabricante	Estados Unidos	Brasil
Total de composteiras avaliadas	23	5
Distribuição das composteiras segundo soluções de aeração e ventilação utilizadas		
Orifícios externos	7	1
Tubos perfurados externos	1	0
Revolvimento manual	6	0
Revolvimento mecânico	6	0
Uso de minhocas	1	4
Aeração forçada	2	0
Distribuição das composteiras segundo posição dos orifícios para entrada de ar		
Nas laterais	8	4
Na parte superior	4	0
Em 2 ou mais faces	8	1
Não possui	3	0

Além do local de origem, soluções de aeração e de ventilação, outras características físicas e operacionais foram avaliadas nos modelos de composteiras domésticas selecionadas, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Outras características físicas e operacionais observadas nas composteiras.

Característica	nº avaliado*	% característica avaliada
Existência de sistema de Aquecimento	40	25,5
Conectividade/ capacidade de ser monitorada ou operada à distância	40	2,5
Existência de filtro/dispositivo para remoção de odor	40	30,0
Existência de dispositivo de para trituração	40	22,5
Período de Estabilização dos Resíduos (obter composto)	40	30,0
Solução para proteção contra Vetores	40	77,5
Utiliza aceleradores de compostagem	36	17,5
Interação entre usuários/ divulgação das avaliações	34	85,0

Nota - * = com informação disponível

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Avaliou-se 40 modelos de composteiras domésticas disponíveis no mercado nacional e internacional, onde as soluções com uso de aeração passiva e ativa ficou equilibrada. Soluções com uso de métodos de aeração passiva, onde existe a ausência de necessidade de equipamentos ou revolvimento manual para aeração da composteira, foram identificadas em 45,0% da amostra avaliada esse modelo de aeração. Tais soluções baseiam-se nos princípios da compostagem em leiras estáticas aeradas, como é o caso do método proposto por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina (BRASIL, 2017), entretanto utilizam basicamente mecanismos como a presença orifícios externos ou tubos perfurados na estrutura da composteira existindo lacuna a ser explorada.

O material de fabricação das composteiras domésticas, além de conferir segurança e durabilidade é um dos critérios considerados pelos consumidores na aquisição desta, estando relacionado com a estética e o peso do equipamento. A fabricação em material a base de polímeros destacou-se, seguida do uso de materiais metálicos como aço inox e galvanizado, o que pode estar relacionado com a durabilidade e resistência destes materiais para tal aplicação bem como o preço vantajoso e a facilidade de limpeza e sanitização.

Durante a operação de uma composteira o usuário precisará manusear com frequência a abertura para colocação dos RO (alimentação), geralmente protegida por uma tampa que pode ter diversos formatos e ser um elemento de ventilação.

A maior parte dos modelos identificados são fixos e não possuem dispositivos que permitam o seu revolvimento (eixo giratório) o que os torna mais compactos. Destaca-se ainda que mecanismos de automação de aeração forçada são pouco explorados talvez por aumentar a complexidade do equipamento, o custo e por necessitar de

uma fonte de energia para o funcionamento. A pesquisa identificou 9 modelos sendo a maioria de fabricação chinesa.

A aeração passiva refere-se por sua vez a ausência de necessidade de equipamentos ou revolvimento manual para aeração da leira (BRASIL, 2017).

De forma complementar, observa-se que apesar maior adoção de soluções para tornar os ambientes domésticos e as cidades inteligentes neste início de século, do potencial de usar as ferramentas da inteligência artificial para ampliar a prática da compostagem, tal possibilidade ainda é pouco explorada pelos fabricantes de composteiras.

CONCLUSÕES

Apesar da amplamente reconhecida a importância de uma boa aeração para o desempenho da compostagem, especialmente quando realizada em ambientes fechados e com uso de composteiras, tal funcionalidade ainda é pouco explorada nos modelos de equipamentos disponíveis no mercado.

Os elementos listados e identificados neste estudo podem ser utilizados para especificar requisitos de projeto no desenvolvimento de novos modelos de composteiras domésticas, auxiliando na construção de equipamentos de compostagem mais compatíveis com as expectativas e necessidades dos usuários e que possam ajudar na disseminação desta prática sustentável.

Estudos sobre soluções para o saneamento ambiental, com design focado em atender as necessidades e preferências de ambientes domésticos, são essenciais para ampliar a prática da compostagem sejam mais disseminadas, economicamente viáveis, socialmente justas e difundidas para toda a sociedade, contribuindo para o alcance dos ODS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação / Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. -- Brasília, DF: MMA, 2017.
2. GLICERIO DAZZI, J.; DARÉ ZAMPIROLI PIRES, P.; NICOLAU KORRES, A.; RISSO GÜNTHER, W.; SERVARE DADALTO, F.; BRINGHENTI, J. Comparative evaluation of performance and usability of small-scale household composting with different geometric models. *Brazilian Journal of Environmental Sciences* (Online), v. 56, n. 1, p. 180-191, 4 fev. 2021.
3. PACE, M. G.; MILLER, B. E.; FARRELL-POE, K. F. *The Composting Process*. Cooperative Extension. Utah State University. 1995.
4. SOLINO, A.C. Análise de modelos e técnicas de compostagem para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares orgânicos. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2018.
5. STENTIFORD, E.I. *Composting Control: Principles and Practice*. In: de Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., Papi, T. (eds) *The Science of Composting*. Springer, Dordrecht. 1996.
6. Compost Bin for Kitchen Countertop. Utopia Kitchen. Disponível em: <<https://www.utopiadeals.com/products/stainless-steel-compost-bin>>.
7. Soil Saver Composter. Algreen. Disponível em: <https://algreenproducts.com/products/soilsaver-composter?_pos=2&_sid=2ef135284&_ss=r>.
8. Large Thermo King Composter. Tierra Garden. Disponível em: <<https://www.tierragarden.com/product/lg-thermo-king-composter/>>.



9. Compost Bin. Redmon Since 1883. Disponível em: < https://www.redmonusa.com/wp-content/uploads/2022/03/lawn_8000_spec.pdf>.

10. Compost Wizard Dual Senior. Good Ideas. Disponível em: < <https://goodideasinc.com/collections/composters/products/compost-wizard-dual-senior>>.

11. TMK-2 Home Compost Machine. TMK. Disponível em: < https://www.tmkhb.com/product/home-compost-machine/?_gl=1*_j63ssd*_ga*MTY3NjQ3Mzc0OC4xNjgwMDQ4MzM1*_ga_0BX2H75V40*MTY4MDY0ODIxMS4yLjEuMTY4MDY0ODIxNS41Ni4wLjA.>