

**Contexto e perspectivas para a compostagem descentralizada de Resíduos
Sólidos Urbanos no Brasil**

Marco Aurélio Soares de Castro

Professor Doutor, Unicamp, Brasil
marcocastro@ft.unicamp.br

Jacqueline Mazini Lafratta

Doutoranda, Unicamp, Brasil
j044150@dac.unicamp.br

Pedro Silva Daltro Moura

Mestrando, Unicamp, Brasil
p247419@dac.unicamp.br

RESUMO

Fatores como a urbanização contribuem para o aumento constante na geração de resíduos sólidos urbanos, dos quais a fração orgânica é a mais significativa. A compostagem constitui alternativa versátil e escalável para a gestão de resíduos orgânicos, e países europeus vem intensificando a adoção desta estratégia, tanto de forma centralizada como descentralizada. Por outro lado, a gestão da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) no Brasil, com exceção de experiências malsucedidas com sistemas centralizados de compostagem, limita-se à disposição em aterros ou lixões, inutilizando material orgânico valorizável e gerando emissões significativas de metano, um dos principais gases de efeito estufa. Estudos abordando a compostagem descentralizada como uma estratégia para aperfeiçoar a gestão de resíduos ainda são pouco frequentes no país. Neste contexto, o objetivo do presente artigo foi traçar um panorama da geração da FORSU no mundo e no Brasil, bem como iniciativas para sua adequada gestão. A partir de uma revisão de literatura, compara a gestão da FORSU na Europa e no Brasil, e aponta perspectivas a partir do atual quadro regulatório brasileiro. A seguir, discute os potenciais benefícios e desafios na implantação e operação de sistemas descentralizados. A compostagem descentralizada (comunitária ou doméstica) constitui alternativa de baixo custo para a gestão da FORSU, porém requer engajamento dos cidadãos, além de atenção à qualidade dos produtos finais. Futuros estudos devem abordar os impactos positivos e eventuais restrições desta alternativa em contextos brasileiros, contribuindo para viabilizar sua integração aos modelos de gestão atualmente adotados no país.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de resíduos. Resíduos Sólidos Urbanos. Compostagem.

1 INTRODUÇÃO

A compostagem consiste na decomposição da matéria orgânica sob condições aeróbias (ROMÁN et al, 2015) por diferentes microrganismos que convertem os resíduos em um composto estável, livre de patógenos e que pode ser utilizado como fertilizante para plantas ou melhorar a estrutura e as propriedades de retenção de umidade do solo (HAUG, 1993). O processo também pode gerar um líquido biofertilizante a partir da umidade natural dos resíduos processados (MEDEIROS; LOPES, 2006). Dentre os elementos presentes nos resíduos, os microrganismos utilizam o carbono como fonte de energia e o nitrogênio como substrato para a síntese proteica na produção de biomassa (ROMÁN et al, 2015), assim além do composto e do biofertilizante, os principais produtos do metabolismo microbiano são dióxido de carbono, água e calor (HAUG, 1993). O processo de compostagem pode ser realizável de forma centralizada, em larga escala, ou descentralizada através de instalações comunitárias ou domésticas (BRUNI et al, 2020).

Diversas atividades humanas como a agropecuária e o tratamento de água e esgoto geram resíduos orgânicos compostáveis (MASSUKADO, 2016). No meio urbano, destaca-se a Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU), gerada no preparo e consumo de alimentos, como cascas de legumes, frutas e ovos, borras e filtros de café, além de galhos, troncos e grama gerados na poda e capina de espaços urbanos (TCHOBANOGLIOUS et al, 1993; MASSUKADO, 2016). A FORSU é de modo geral a mais significativa fração gerada nas cidades de todo o mundo, e leis de diversos países consideram-na uma prática mais desejável do que a destinação para aterros, que no entanto continua sendo a estratégia mais adotada no Brasil e no mundo. Os impactos da disposição de resíduos orgânicos em aterros, além da evidente perda do potencial de aproveitamento deste material, incluem a geração do metano, reconhecido como um dos principais gases de efeito estufa (SEEG, 2022).

Apesar deste contexto, observa-se que estudos sobre a aplicabilidade da compostagem via sistemas descentralizados, que vêm se popularizando em diversas regiões do mundo, ainda são escassos no país.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal traçar um panorama da compostagem no Brasil, a partir do atual quadro da gestão da Fração dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) e dos marcos regulatórios do país, estabelecendo um paralelo com disposições legais da Europa. Também pretendeu-se apontar perspectivas para a adoção das chamadas soluções descentralizadas, também a partir da comparação de dispositivos legais em vigor e de resultados de iniciativas no país como na Europa.

3 METODOLOGIA

O trabalho se baseou em uma pesquisa descritiva, que levantou dados secundários quantitativos e qualitativos. A literatura consultada incluiu livros, artigos, leis em vigor no Brasil e na Europa, além de manuais, relatórios, diagnósticos e documentos como a versão mais recente do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares).

4 RESULTADOS

4.1 Urbanização e geração de Resíduos Sólidos Urbanos

Até 2050, a população mundial terá um crescimento estimado em 40% em relação a 2020, chegando a aproximadamente 10 bilhões de pessoas naquele ano (UN DESA, 2019); desse total, cerca de 80% estarão vivendo em áreas urbanas (WILSON et al., 2015; RICCI-JÜRGENSEN et al, 2020). A manutenção dos atuais padrões de consumo das áreas urbanizadas implicará a utilização mais intensiva de recursos naturais o que trará, entre outras consequências, o aumento na geração de resíduos (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são definidos como o conjunto dos Resíduos Domiciliares, gerados por atividades domésticas em habitações urbanas, e dos Resíduos de Limpeza Urbana, provenientes destes serviços como a varrição, poda, capina e limpeza de logradouros, vias públicas, sistemas de drenagem e praias (BRASIL, 2010; CEMPRE, 2018). Prevê-se que a geração anual de RSU no mundo aumentará em 73%, passando de 2,2 bilhões de toneladas em 2020 para 3,88 bilhões de toneladas em 2050 (KAZA; SHRIKANTH; CHAUDHARY, 2021). Os países de renda média-baixa e média-alta serão responsáveis por 71% da geração de RSU prevista até 2050 (Tabela 1).

Tabela 1 - Participação na geração de RSU segundo o nível de renda dos países

Faixa de renda	Participação na geração de RSU (%)	
	2020	2050
Baixa	5	8
Média-baixa	24	33
Média-alta	40	8
Alta	32	22

Fonte: KAZA et al. (2021), adapt.

4.2 Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU): geração e destinação no mundo

Fração Orgânica dos resíduos Sólidos Urbanos (FORSU), ou simplesmente 'resíduo orgânico', são nomes dados a quaisquer materiais orgânicos de origem vegetal ou animal como

restos de alimentos, resíduos de podas e jardins (LIM et al, 2016). Em 2018, o Banco Mundial estimou a geração anual da FORSU no mundo em 1 bilhão de toneladas, correspondendo a cerca de 44% de todo o RSU gerado (KAZA et al, 2018). Com o crescimento populacional e intensificação da urbanização prevê-se um aumento de 80% na geração de resíduos orgânicos até 2050 (RICCI-JÜRGENSEN et al, 2020).

A taxa de geração da FORSU varia em razão de fatores culturais, nível de desenvolvimento econômico e hábitos de consumo. As taxas de geração per capita nos países ditos ‘desenvolvidos’ é muito maior do que nos países economicamente menos prósperos (KAZA et al, 2021). No mais, enquanto a FORSU representa em média 30% dos RSU gerados nos países de maior renda, sendo superada pela geração de resíduos como papel e plástico, nos países de menor renda a FORSU representa de 50% a 60% do total gerado (WILSON et al., 2015; KAZA et al., 2018), conforme verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Variação da composição dos RSU por nível de renda dos países

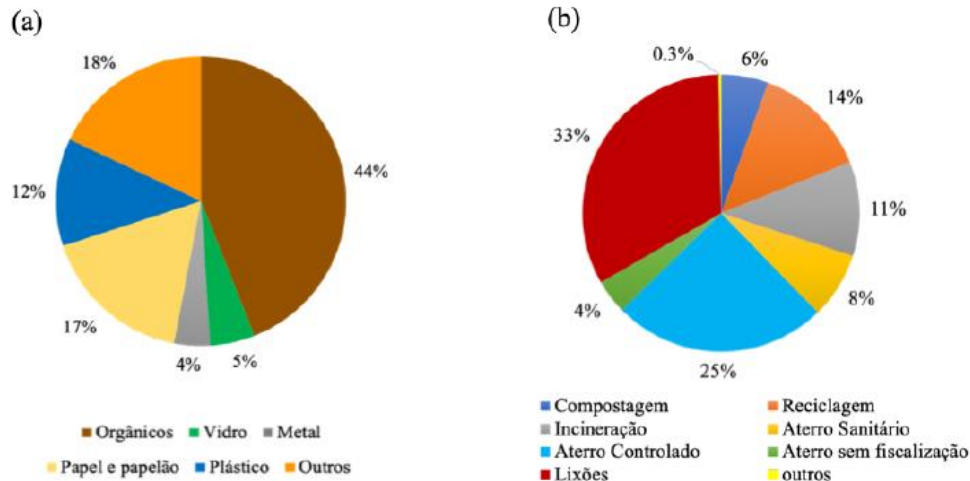
Resíduos	Renda dos países			
	Baixa	Média-Baixa	Média-Alta	Alta
Fração Orgânica	53 – 64%	53 – 59%	46 – 54%	28 – 34%
Vidro	1 – 3%	3%	4 – 5%	5 – 7%
Metal	2 – 3%	2 – 3%	2 – 4%	5 – 6%
Plástico	6,5 – 8%	9 – 12%	11 – 12%	11 – 13%
Papel	5 – 7%	9 – 12,5%	12 – 19%	24 – 31%
Outros	17 – 30%	15 – 21%	13 – 17%	17 – 20%

Fontes: Hoornweg e Bhada-Tata (2012), Wilson et al (2015), Kaza et al. (2018)

Uma parcela considerável da FORSU é composta pelos restos de alimentos (KAZA et al., 2018). Faz-se aqui a diferença entre perdas de alimentos (em inglês ‘*food loss*’), termo que se refere à perda na quantidade ou qualidade dos alimentos ao longo das etapas de produção, processamento e transporte, e os desperdícios de alimentos (em inglês, ‘*food waste*’), que ocorrem devido a decisões e ações de mercados, serviços de alimentação e consumidores, correspondendo aos alimentos que foram preparados, mas não comprados ou consumidos (FAO, 2022). Mais de 930 milhões de resíduos de alimentos no mundo foram gerados no mundo em 2019, o equivalente a 17% do total de alimentos produzidos. 87% do total vem do desperdício de alimentos (‘*food waste*’), que ocorre na etapa de consumo; salienta-se que este é um comportamento comum tanto aos países mais ricos quanto aos mais pobres (FORBES; QUESTED; O’CONNOR, 2021).

Quanto às alternativas de gestão e gerenciamento, ainda que, como já citado, a fração orgânica corresponde a 44% do total de RSU gerados anualmente, a quantidade de RSU destinada à compostagem em todo o mundo não supera os 6%. Quase 60% dos resíduos são destinados para lixões, aterros controlados e outras áreas de disposição inadequada ou sem fiscalização (Figura 2); os lixões recebem um terço de todo o RSU gerado no mundo (KAZA et al., 2018).

Figura 2 - Composição (a) e formas de destinação (b) de RSU no mundo



Fonte: Kaza et al. (2018), adapt.

4.3 Gestão de da FORSU na Europa

Na Europa, a gestão de resíduos, aí incluída a FORSU, é disciplinada sobretudo pelas Diretivas 1999/31/CE, 2008/98/CE e 2018/851. O quadro regulatório europeu caracteriza-se pela adoção do conceito de prioridade, introduzido por uma Diretiva de 1975, com o objetivo primeiro de minimizar os resíduos gerados para só então gerenciá-los (EUROPEAN UNION, 1975). O conceito foi atualizado na Diretiva de 2008, que aplicou o termo ‘hierarquia do resíduo’ à sequência de prevenção, preparação para reuso, reciclagem, outros tipos de valorização, como o aproveitamento energético, e eliminação (disposição final) do resíduo (EUROPEAN UNION, 2008).

O entendimento atual é de que é necessário transformar a gestão de resíduos em gestão sustentável de materiais para, além de proteger, preservar e melhorar a qualidade ambiental e proteger a saúde humana, promover o uso racional e eficiente de recursos naturais e promover os princípios da economia circular, entre outros objetivos (EUROPEAN UNION, 2018). Nesse sentido, a gestão de resíduos deve prever a valorização, que inclui a triagem dos resíduos e que deve ser precedida pela coleta e transporte (EUROPEAN UNION, 2018).

Os resíduos orgânicos são definidos como os resíduos biodegradáveis de jardins e parques, e resíduos alimentares e de cozinha das habitações, dos escritórios, dos restaurantes e outros serviços de alimento, bem como das unidades de transformação de alimentos (EUROPEAN UNION, 2008; 2018).

A Diretiva de 1999 previu sucessivas metas de redução na quantidade de resíduos orgânicos enviados para aterros (EUROPEAN UNION, 1999); a geração per capita de restos de alimento deve ser reduzida em 50% até 2030, tanto no varejo como nos domicílios, e as perdas ao longo da cadeia produtiva e de abastecimento também devem ser reduzidas. Até 2025 no mínimo 55% em peso dos resíduos sólidos urbanos devem ser reciclados. A porcentagem mínima aumenta para 60% até 2030 e para 65% até 2035 (EUROPEAN UNION, 2018).

Os países membros da União Europeia devem incentivar o aproveitamento da FORSU, em especial pela compostagem doméstica, e promover a utilização dos materiais produzidos a partir desses resíduos. Até 31 de dezembro de 2023, também devem ter a separação e

aproveitamento na origem dos resíduos biodegradáveis, ou realizar sua coleta seletiva de forma separada de outros resíduos (EUROPEAN UNION, 2018).

A legislação europeia também adota o ‘princípio da proximidade’, segundo o qual a recuperação do RSU coletado das residências deve ocorrer na ‘instalação adequada mais próxima possível’ da fonte geradora (EUROPEAN UNION, 2008).

A Diretiva de 2018 também prevê diversos exemplos de instrumentos econômicos e outras medidas para incentivar a aplicação da hierarquia dos resíduos, como:

- taxas e restrições aplicáveis à disposição final e à incineração de resíduos, como forma de incentivar a prevenção de resíduos e reciclagem;
- sistemas de pagamento que onerem os geradores de resíduos com base na quantidade gerada, e que incentivem a separação na origem dos resíduos recicláveis e a redução dos rejeitos, isto é, os resíduos considerados inservíveis;
- Incentivos econômicos a autoridades regionais e locais que promovam estratégias de prevenção de resíduos e reforçar os sistemas de recolha seletiva, evitando o apoio à disposição em aterros e à incineração (EUROPEAN UNION, 2018).

4.4 Gestão de da FORSU no Brasil

País mais populoso e urbanizado da América Latina, o Brasil responde por quase 50% do total de RSU gerado na região (RICCI-JÜRGENSEN et al, 2020); a geração de RSU no país atingiu 81,8 milhões de toneladas em 2022 (ABRELPE, 2023). Estima-se que a fração orgânica corresponda a mais de 45% dos RSU do país (BRASIL, 2022), ou cerca de 36 milhões de toneladas por ano, o equivalente a um descarte de 170 kg de resíduo orgânico por pessoa.

Serviços de coleta direta e indireta de resíduos atendem 89,9% da população total e 98,3% da população urbana (MDR, 2022); a taxa média de coleta de RSU nas cinco regiões brasileiras é de 92% (ABRELPE, 2019). Quanto às alternativas de destinação dos resíduos coletados, dados de 2021 identificaram 5530 unidades para processamento, sendo quase 90% delas destinadas aos RSU, conforme Tabela 3 (MDR, 2022):

Tabela 3 – unidades para processamento de resíduos sólidos no Brasil

tipo de unidade	Região					Soma	%
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste		
Triagem (galpão ou usina)	52	171	745	631	127	1726	31,2%
Lixão	279	899	140	24	230	1572	28,4%
Aterro sanitário	16	69	323	218	43	669	12,1%
Aterro controlado	42	108	365	38	42	595	10,8%
Unidade de transbordo de RSU	5	18	119	87	20	249	4,5%
Unidade de compostagem (pátio ou usina)	1	8	49	15	4	77	1,4%
Unidade de manejo de galhadas e podas	6	7	17	25	3	58	1,0%
SUBTOTAL PARA RSU	401	1280	1758	1038	469	4946	89,4%
Unidades para processamento de outros tipos de resíduo, etc	17	123	333	87	24	584	10,6%
TOTAL	418	1403	2091	1125	493	5530	100,0%

Fonte: MDR (2022), adapt.

Observa-se que face a uma população de mais de 203 milhões de habitantes (IBGE, 2022), as 77 unidades de compostagem identificadas correspondem a uma unidade para 2,8 milhões de habitantes. As destinações mais frequentes para os RSU - e portanto para a fração orgânica - são os aterros e lixões que, conforme Tabela 4, são o destino final de mais de 96% dos RSU coletados. A valorização dos resíduos via compostagem não atinge 0,6% do total e juntamente com a reciclagem, responde por pouco mais de 3% da destinação dada aos RSU.

Tabela 4 – destinações para os RSU no Brasil

Tipo de destinação	Massa (t)	%
Aterro sanitário	39.859.929,20	73,76
Lixão	6.177.442,00	11,43
Aterro controlado	5.944.139,30	11,00
Reciclagem	1.613.786,60	2,99
Compostagem	304.632,30	0,56
Unidade de manejo de resíduos de poda	142.625,10	0,26
Total	54.042.554,50	100

Fonte: MMA (2021)

As taxas de valorização de resíduos no Brasil se mostram inexpressivas não apenas em comparação a países como Alemanha e Itália, mas também a países da América Latina e Caribe, como Peru, Colômbia, Cuba e Chile (VIEIRA; SANTOS, 2023).

A disposição final da FORSU em lixões, aterros controlados e aterros sanitários está também relacionada à geração de metano (CH_4). O efeito potencial do CH_4 no aquecimento global é 28 vezes maior que o do dióxido de carbono (CO_2), e estima-se que ele seja responsável por metade do aumento líquido da temperatura global identificado atualmente (SEEG, 2022).

O setor de resíduos é a terceira maior fonte de metano no mundo, atrás apenas dos combustíveis fósseis e do setor agrícola (UNEP e CCAC, 2021). O Brasil é o quinto maior emissor de metano do mundo, contribuindo com 5,5% do metano do planeta; o setor de resíduos é o segundo maior gerador, emitindo cerca 16% do total brasileiro em 2020, superado apenas pelo setor agropecuário; a disposição final contribui com quase 2/3 das emissões de CH_4 do setor de resíduos (SEEG, 2022).

Estudos apontam que a mitigação das emissões no setor de resíduos poderia ser conseguida com estratégias de baixo e médio custo, por se basearem em tecnologias já disponíveis e economicamente viáveis, que contribuiriam para a redução gradativa de envio de resíduos orgânicos para aterros sanitários, e a erradicação de lixões (SEEG, 2022).

4.4.1 A experiência brasileira com as Usinas de Triagem e Compostagem (UTCs)

A experiência brasileira mais significativa com compostagem em grande escala se deu através de sistemas centralizados de compostagem: as chamadas Usinas de Triagem e Compostagem (UTC) eram instalações de grande porte, com espaço e infraestrutura para processarem os resíduos coletados em um ou mais municípios. Equipamentos e funcionários triam os resíduos, direcionando a FORSU para o pátio de compostagem e o rejeito para o aterro sanitário, localizados no mesmo empreendimento (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Um processo bastante divulgado e utilizado em diversos países, entre eles o Brasil, foi o processo Dano, de origem dinamarquesa; a instalação consistia em um cilindro girando em baixa rotação, que recebia os resíduos provenientes da coleta regular, que eram misturados e em

parte rompidos em partículas menores; metais ferrosos eram posteriormente removidos por separação magnética e os recicláveis eram separados manualmente (DIAZ et al, 2007).

A adoção de UTCs foi estimulada na década de 1980 em razão de linha de crédito do BNDES que financiava a compra destes equipamentos por parte das prefeituras; porém, na década seguinte as usinas já se encontravam paralisadas ou desativadas. Uma série de fatores contribuiu para este fracasso, como a localização inadequada e falta de planejamento e dimensionamento, resultantes da própria forma como as usinas eram divulgadas aos administradores públicos municipais: elas seriam instalações capazes de converter todo o 'lixo' em material de alto valor de mercado, tornando-se lucrativas e praticamente dispensando o uso de aterros sanitários (CEMPRE, 2018). A preocupação na aquisição dos equipamentos era frequentemente centrada no aproveitamento dos materiais recicláveis, desconsiderando-se a própria FORSU, a fração predominante (SCHALCH et al, 2002).

Na prática, os materiais orgânicos e recicláveis chegavam à usina misturados e prensados, por terem sido coletados em caminhões compactadores, o que virtualmente impossibilitava sua separação, e fazia com que os produtos finais tivessem baixa qualidade: recicláveis contaminados com orgânicos e rejeitos, e composto apresentando uma série de impurezas vindas de recicláveis como partículas de vidros, papéis, plásticos e metais (SCHALCH et al, 2002; SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Isto, somado ao uso de mão de obra desqualificada para a triagem e aos frequentes problemas de funcionamento por falta de manutenção preventiva, também fizeram com que as UTCs fossem desacreditadas e caíssem em desuso no país (SCHALCH et al, 2015). Com efeito, Bianco et al (2019) sintetizam diversas pesquisas que apontam que a compostagem realizada em UTCs sem ser precedida de alguma forma de separação prévia traz resultados insatisfatórios.

4.5 Compostagem: perspectivas a partir do atual quadro regulatório brasileiro

Instituída pela Lei Federal 12305/10, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) se baseia no conceito de hierarquia do resíduo da legislação europeia, ao estabelecer que a gestão e gerenciamento de resíduos devem considerar, nesta ordem, não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, e só então a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010),

O inciso VII do artigo 3º inclui a compostagem como alternativa de destinação final ambientalmente adequada de resíduos. A PNRS atribui aos municípios a responsabilidade em gerir os resíduos domiciliares e de limpeza urbana gerados em seus territórios; e, em seu artigo 36, inciso V, impõe aos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos o dever de implementar sistemas de compostagem para tratar a fração orgânica, buscando parcerias com a comunidade e setor privado visando a utilização e valorização do composto produzido (BRASIL, 2010).

O Decreto 10936/22, regulamentador da PNRS, estabelece que os sistemas de coleta seletiva devem promover no mínimo a separação de resíduos secos e orgânicos dos rejeitos, estando sujeitos às metas estabelecidas nos planos de resíduos sólidos (BRASIL, 2022). Ou seja, já há previsão legal determinando a coleta da FORSU de forma separada das demais frações, com vistas ao seu adequado aproveitamento.

Entre os instrumentos previstos pela Lei 12305/10 para atingimento dos objetivos da PNRS, destacam-se os planos de resíduos sólidos, em escalas nacional, regional, estadual e

municipal. A partir do diagnóstico da geração e gestão de resíduos, os planos devem propor cenários futuros, e estabelecer metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras estratégias, bem como prever os programas, projetos e ações para o atendimento destas metas (BRASIL, 2010).

A partir das estimativas de geração e do diagnóstico de gestão, já comentados anteriormente, a versão mais recente do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) descreve um cenário que denomina 'realista', tomado como referência para o período 2021 a 2024, que considera que a reciclagem de resíduos orgânicos teria um papel inicial na redução do volume de resíduos dispostos em aterros ou lixões e conseqüentemente na redução dos custos com a disposição final. Por terem maior viabilidade técnica e econômica e menores riscos, os processos de compostagem se popularizariam entre atividades e serviços considerados 'grandes geradores': feiras livres; mercados municipais; serviços de manutenção de áreas verdes; restaurantes, além de iniciativas comunitários (BRASIL, 2022). Ao longo do período, no cenário descrito pelo plano, a compostagem também passaria a ser realizada localmente em outras escalas, o que também reduziria custos com o transporte de materiais em distâncias maiores (BRASIL, 2022).

Entre as metas previstas está um aumento gradativo na destinação da FORSU para compostagem e digestão anaeróbia, que deveria atingir 13,5% em relação à massa total em 2040. Até esse ano, todas as cidades brasileiras devem ter alguma iniciativa de valorização da FORSU, como coleta seletiva, compostagem e digestão anaeróbia "em escala piloto ou comercial, unidades de tratamento mecânico-biológico, dentre outros" (BRASIL, 2022)

As metas do Planares relacionadas à FORSU estão basicamente relacionadas à redução na quantidade de resíduos encaminhados para aterros e ao aumento nas taxas de valorização (reciclagem) da fração orgânica. Pretende-se que a redução no envio para disposição final ocorra pela redução na geração de resíduos e aumento na reutilização de produtos, através da criação de bancos de alimentos para evitar desperdícios e do acesso a recursos para implantar unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) para resíduos orgânicos (BRASIL, 2022). Explicita-se, portanto, o incentivo a estratégias centralizadas de compostagem.

O aumento nas taxas de valorização da FORSU deve se dar pelo estímulo ao mercado de produtos compostáveis e priorizar o uso dessas matérias-primas, pela expansão e consolidação da coleta seletiva de resíduos orgânicos e pela valorização de sua recuperação. Estas diretrizes orientam estratégias como:

- incentivar sistemas de segregação na fonte, inclusive colocando-os como condicionante no processo de licenciamento ambiental estadual e municipal;
- incentivar procedimento simplificado para instalação de unidades de compostagem e biodigestores de pequeno porte;
- orientar a adoção de leis municipais que obriguem os chamados grandes geradores (supermercados, feiras livres, restaurantes e similares) a adotarem estratégias de gestão da FORSU diferentes da disposição final; ao mesmo tempo, apoiar programas municipais de segregação na fonte, compostagem e digestão anaeróbia de resíduos orgânicos oriundos destes geradores;
- estimular ações de ampliação de uso do composto em áreas verdes urbanas, incluindo a agricultura urbana (BRASIL, 2022).

Por fim, o plano determina que terão prioridade no acesso a recursos da União as propostas elegíveis que previrem ações para inclusão social e emancipação econômica de

catadores; soluções que promovam a redução da disposição final de resíduos e que viabilizem a segregação na fonte e coleta seletiva da FORSU; e sistemas para valorização de resíduos orgânicos, entre outros aspectos (BRASIL, 2022).

4.5.1 Leis de grandes geradores

Ainda em termos de provimentos legais, algumas das iniciativas identificadas ao longo da pesquisa foram as chamadas “leis de grandes geradores”. Tratam-se de dispositivos legais que de modo geral estabelecem que os geradores de volumes ou massas de resíduos acima de valores previamente definidos devem se responsabilizar pela sua coleta, e com os custos decorrentes dela, e não mais dispor os resíduos para coleta pelo serviço público de manejo de resíduos sólidos.

Um dos exemplos é o município de São Paulo, cujo decreto 58701/19 define como grandes geradores os estabelecimentos comerciais, industriais e prestadores de serviços, entidades da Administração Indireta e órgãos e entidades estaduais e federais da Administração Direta e Indireta que diariamente gerem acima de 200 litros de resíduos Classe IIA (não perigosos, não inertes) ou acima de 50 kg de resíduos Classe IIB (‘inertes’), e condomínios de edifícios não-residenciais ou de uso misto que gerem um total de resíduos Classe II igual ou maior que 1000 litros diários (SÃO PAULO, 2019). No Distrito Federal, a Lei 5610/16, posteriormente alterada pela Lei 6484/20, define como grandes geradores aqueles que geram acima de 120 litros de resíduos sólidos não perigosos e não inertes (equiparáveis aos resíduos domiciliares). Determina explicitamente que os grandes geradores são integralmente responsáveis - da segregação à destinação final - pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, arcando com todos os gastos decorrentes (DISTRITO FEDERAL, 2016; 2020).

As restrições de leis como estas e os grandes volumes gerados da FORSU têm feito com que muitos grandes geradores adotem práticas para gestão desta fração, diminuindo a quantidade de resíduos efetivamente gerados para assim utilizar os serviços públicos de coleta. Como exemplo, a Embaixada da Itália em Brasília adotou medidas como a substituição de copos de plástico por copos compostáveis e passou a realizar a compostagem de restos de alimentos consumidos e dos resíduos orgânicos do paisagismo e da manutenção da ampla área verde existente no local. Como resultado, a quantidade de resíduos diariamente enviados para coleta e disposição em aterro passou de 125 kg para 2 kg (SABATINI; WANDERLEY, 2021).

4.6 Compostagem descentralizada

Para contornar os problemas advindos do processamento, em sistemas centralizados, de resíduos orgânicos provenientes da coleta regular, países como Alemanha e Países Baixos têm estimulado a separação prévia, na fonte, de resíduos orgânicos. Isto, por outro lado aumenta os custos de coleta e transporte, por conta da necessidade da coleta específica da FORSU; uma estratégia tem sido coletar a FORSU uma vez por semana e o resto dos resíduos duas vezes por semana. Os crescentes custos para o manuseio e transporte em longas distâncias, aliados aos altos custos e à complexidade de operação dos empreendimentos podem inviabilizar os sistemas centralizados de compostagem (BRUNI et al., 2020).

Os potenciais desafios logísticos e econômicos associados à coleta dos resíduos, de garantia da qualidade do composto obtido em grandes instalações, e o contexto delineado pelas

leis de grandes geradores, entre outros aspectos, podem representar estímulo à adoção e implantação de sistemas descentralizados, em que a compostagem é realizada em diversos pontos, de modo geral próximos às fontes geradoras dos resíduos.

Os chamados centros de compostagem comunitária são instalações que processam resíduos orgânicos de moradores, produtores de uma mesma comunidade; em certos casos, outros pequenos geradores de resíduos orgânicos, como comércios e moradores do entorno ou visitantes também podem se valer destes sistemas; tais instalações são consideradas como tratamento 'na fonte', pela sua proximidade dos geradores (ADHIKARI et al, 2010). Outra alternativa aos sistemas centralizados é a compostagem domiciliar, em casas ou mesmo apartamentos, realizada em baldes ou caixas plásticas e processando apenas os resíduos da residência; sistemas de compostagem domiciliar, mesmo não atingindo temperaturas termofílicas, são capazes de gerar compostos que frequentemente têm qualidade suficiente para utilização em jardins ou hortas (VÁZQUEZ; SOTO, 2017).

O tratamento descentralizado dos resíduos orgânicos apresenta custos de logística, manutenção e operação sensivelmente menores em comparação aos sistemas centralizados (BRUNI et al., 2020). Outros potenciais benefícios são a redução de custos com instalações e nas emissões de gases de efeito estufa, bem como o condicionamento e fertilização de extensas áreas agrícolas (ADHIKARI et al, 2010).

A bibliografia consultada analisou experiências recentes em diferentes localidades, e de modo geral ressalta o potencial de sistemas descentralizados de compostagem, ao mesmo tempo que destaca aspectos de atenção quanto à localização das instalações, organização da comunidade e aos produtos obtidos. Após, analisarem sistemas descentralizados na Itália, Bruni et al (2020) defendem que a compostagem comunitária é integrável a sistemas de gerenciamento de resíduos, especialmente em localidades menores, enquanto que em cidades maiores, instalações descentralizadas podem apoiar plantas centralizadas de médio porte; contudo, propõem um foco maior na compostagem comunitária que pode ser mais passível de controle do que na doméstica, e recomendam a identificação prévia das características socioeconômicas e demandas específicas da região onde se pretende instalar sistemas descentralizados. Alves et al (2022) analisaram a localização e funcionamento de centros de compostagem comunitária na região espanhola da Galícia, apontando que iniciativas como esta requerem um estudo da municipalidade em que os sistemas serão implantados, especialmente quanto ao planejamento urbano, distribuição da população e as áreas verdes existentes; também destacam a importância caracterizar o material estruturante proveniente da poda e capina de áreas verdes. Kohli et al (2022) analisaram compostos produzidos em diversos centros da cidade francesa de Nantes, atestando o potencial da compostagem comunitária; ressaltam, porém, a necessidade de avaliar a presença de metais nos compostos, sobretudo se produzidos em áreas próximas a regiões industriais. De Boni et al (2022) concluem sobre as vantagens econômicas ambientais e sociais para pequenas comunidades e territórios tratarem seus resíduos orgânicos de forma descentralizada, em vez de enviá-los para grandes instalações, porém alertam sobre a necessidade de envolvimento ativo dos cidadãos no processo. Com efeito, programas eficientes de educação ambiental são fundamentais para estabelecer conscientização e capacidade técnica na comunidade, propiciando uma correta separação dos resíduos na fonte e garantindo a qualidade do resultado final (PANARETOU et al, 2019; BRUNI et al, 2020).

No Brasil, iniciativas perenes de compostagem descentralizada são ainda escassas. Cita-se inicialmente o projeto “Revolução dos Baldinhos”, realizado em duas comunidades de Florianópolis (SC) desde 2008. Baseia-se na coleta seletiva de resíduos orgânicos com a distribuição de baldinhos para as residências e a instalação de bombonas plásticas nas ruas da região, além de um trabalho de conscientização porta a porta sobre a separação correta de resíduos. O projeto atualmente conta com 28 PEVs (Pontos de Entrega Voluntária) que recebem resíduos orgânicos das comunidades e dois condomínios de fora da área, e realiza coleta independente de resíduos em outras instituições. Atende mensalmente cerca de 2400 pessoas, recebendo 12 t de resíduos orgânicos e produzindo 3 t de composto (MMA et al., 2018; VIEIRA; SANTOS, 2023). Prevê-se que a institucionalização do projeto possa trazer o reconhecimento da compostagem comunitária como atividade de coleta, processamento e comercialização de resíduos que pode ser prestada por associações ou cooperativas de catadores (MMA et al., 2018).

Por sua vez, o projeto “Feiras e Jardins Sustentáveis”, iniciado em São Paulo (SP) no final de 2015, gerencia resíduos orgânicos gerados em feiras livres da cidade. Equipes das empresas de varrição orientam os feirantes a separarem restos de frutas, de legumes e verduras. Ao final das feiras, agentes de limpeza recolhem e encaminham o material para um dos cinco pátios de compostagem da cidade, todos próximos a feiras livres. Chegando ao pátio, os resíduos são misturados com restos de poda de árvores e palha e dispostos em leiras por cerca de 120 dias. O composto obtido é utilizado como insumo em jardins e praças públicas e também distribuído gratuitamente para a população. Juntos, os pátios têm capacidade para receber 15600 t de material e processar até 3120 t de composto orgânico em um ano (SÃO PAULO, 2021).

5 CONCLUSÃO

O equacionamento em nível global da gestão da FORSU passa pela estruturação, aplicação e manutenção de um ordenamento jurídico e normativo que estimule e incentive iniciativas de compostagem em diversos níveis.

Dada a significativa geração da FORSU no Brasil, a compostagem, consistentemente desprivilegiada nas ações tomadas até o momento no país, é peça fundamental no aprimoramento da gestão de resíduos.

Ainda que a literatura ateste o potencial de ações descentralizadas na redução na disposição final de resíduos, que historicamente predomina no mundo e no Brasil, iniciativas nesta escala são também pouco frequentes no país. Nesse sentido, as leis municipais focadas em coibir o envio de resíduos para aterros por parte dos grandes geradores constituem instrumentos que estimulam a adoção de soluções direcionadas à redução na geração - objetivo primordial da gestão de resíduos - e à compostagem da FORSU, em especial de forma descentralizada.

Iniciativas descentralizadas em andamento na Europa e no Brasil sinalizam para a viabilidade de sistemas nesta escala, o que, no entanto, requer não apenas engajamento e capacitação técnica dos cidadãos interessados, mas também um esforço de planejamento considerando as especificidades da região escolhida, a atenção ao produto final e às áreas que o receberão. Por fim, observa-se que ainda há grande demanda por estudos específicos sobre a aplicabilidade de iniciativas descentralizadas de compostagem no contexto brasileiro, que

identifiquem os potenciais impactos positivos e eventuais restrições, ajudando a determinar se - e em que condições - seria possível sua integração formal aos modelos de gestão e gerenciamento de RSU atualmente estabelecidos no país.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. 64 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022>. Acesso em: 28 ago. 2023.

ADHIKARI, B.K.; TREMIER, A.; MARTINEZ, J.; BARRINGTON, S. Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: perspective for Europe and Canada. **Waste Management & Research**, n. 28, p. 1039-1053, 2010.

ALVES, D.; VILLAR, I.; MATO, S. Community composting strategies for biowaste treatment: methodology, bulking agent and compost quality. **Environmental Science and Pollution Research**, Feb 23, 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 11 mai. 2021.

BIANCO, C. I.; GUERMANDI, J. I.; SIMÕES, A. L. G. Tratamento: compostagem. In: SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; CASTRO, M. C. A. A.; CÔRDOBA, R. E.; CASTRO, M. A. S. (Orgs.). **Resíduos sólidos: conceitos, gestão e gerenciamento**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, v. 1, p. 27-37.

BRUNI, C.; AKYOL, Ç.; CIPOLLETTA, G.; EUSEBI, A.L.; CANIANI, D.; MASI, S.; COLÓN, J.; FATONE, F. Decentralized Community Composting: Past, Present and Future Aspects of Italy. **Sustainability**, 12, 3319, 2020.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4ª ed. São Paulo (SP): CEMPRE. 316 p. 2018.

DE BONI, A.; MELUCCI, F. M.; ACCIANI, C.; ROMA, R. Community composting: A multidisciplinary evaluation of an inclusive, participative, and eco-friendly approach to biowaste management, **Cleaner Environmental Systems**, 6, 100092, 2022.

DIAZ, L.F.; DE BERTOLDI, M.; BIDLINGMAIER, W.; STENTIFORD, E. (eds.). **Compost science and technology** (Waste management series; v. 8). Oxford: Elsevier. 364 p. 2007.

DISTRITO FEDERAL. **Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016**. Dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Disponível em: https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/0ff7a122ae454ffb9e01db0589e029e6/Lei_5610_2016.html. Acesso em: 06 jun. 2023.

DISTRITO FEDERAL. **Lei nº 6.484, de 14 de janeiro de 2020**. Altera a Lei nº 5.610, de 16 de fevereiro de 2016, que dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Disponível em: https://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/b7f237ba8eca46f08253c463d7fb6270/Lei_6484_2020.html. Acesso em: 06 jun. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. Directorate-General Environment. **Preparing a Waste Prevention Programme**. Guidance document. October 2012. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/prevention/Waste%20prevention%20guidelines.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

EUROPEAN UNION. **Council Directive 75/442/EEC on waste**. 1975, p. L 194/39-41.

EUROPEAN UNION. **COUNCIL DIRECTIVE 1999/31/EC on the landfill of waste**. 26 abr. 1999. 30 p.

EUROPEAN UNION. **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain directives**. 18 nov. 2008, p. 3-30.

EUROPEAN UNION. **Directive 2018/851 of the European Parliament and of the Council amending Directive 2008/98/EC on waste**. 18 mai. 2018, p. 109 -140.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Voluntary Code of Conduct for Food Loss and Waste Reduction**. 48 p. Rome, 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/3/cb9433en/cb9433en.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

FORBES, H.; QUESTED, T.; O'CONNOR, C. **Food waste index report 2021**. Nairobi: UNEP, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-wasteindex-report-2021>. Acesso em: 30 jul. 2021.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste: A global review of solid waste management**. Washington: The World Bank, 2012. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>. Acesso em: 20 fev. 2020.

IBGE – INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022**. Panorama. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal. Acesso em: 26 set. 2023.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington: World Bank Group, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/211329ov.pdf?sequence=11&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2020.

KAZA, S.; SHRIKANTH, S.; CHAUDHARY, S. **More growth, less garbage**. Washington: World Bank Group, 2021. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35998>. Acesso em: 30 jul. 2021.

KOHLI, A.; GUÉNON, R.; JEAN-SORO, L.; VIDAL-BEAUDET, L. Home and community composts in Nantes city (France): quality and safety regarding trace metals and metalloids. **Environmental Monitoring and Assessment**, 194, 649, 2022.

LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262–278, 2016.

MASSUKADO, L. M. **Compostagem: nada se cria, nada se perde, tudo se transforma**. 1. ed. Brasília, DF: Editora IFB, 2016.

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - Visão Geral**. Ano de referência 2021. Dezembro 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf/@@download/file/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_RS_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Revista Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, p. 24–26, 2006.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. **Inventário Nacional de Resíduos Sólidos 2019** (dados atualizados em 10/08/2021). Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/inventario-nacional/>. Acesso em: 18 set. 2023.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; CEPAGRO - CENTRO DE ESTUDOS E PROMOÇÃO DA AGRICULTURA DE GRUPO; SESC - SERVIÇO SOCIAL DO COMÉRCIO. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**. Brasília, DF: MMA, 68 p. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/item/484.html>. Acesso em: 29 ago. 2021.

PANARETOU, V.; VAKALIS, S.; NTOLKA, A.; SOTIROPOULOS, A.; MOUSTAKAS, K.; MALAMIS, D.; LOIZIDOU, M. Assessing the alteration of physicochemical characteristics in composted organic waste in a prototype decentralized composting facility. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 20, p. 20232–20247, 2019.

RICCI-JÜRGENSEN, M.; GILBERT, J.; RAMOLA, A. **Global assessment of municipal organic waste production and recycling**. Rotterdam: ISWA, 2020. Disponível em: <https://www.iswa.org/iswa/iswa-groups/working-groups/>. Acesso em: 07 ago. 2020.

ROMÁN, P.; MARTÍNEZ, M. M.; PANTOJA, A. **Farmer's compost handbook: experiences in Latin America**. Santiago: FAO, 2015.

SABATINI, R.; WANDERLEY, T. **Cidades lixo zero**. Florianópolis-SC: Instituto Lixo Zero Brasil, 208 p. 2021.

SÃO PAULO (município). **Decreto nº 58.701, de 4 de abril de 2019**. Regulamenta os artigos 123, 140, 141 e 142 da Lei nº 13.478, de 30 de dezembro de 2002, que dispõe sobre a organização do Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo, fixa competências voltadas à fiscalização das posturas municipais e à aplicação das respectivas penalidades previstas na referida lei, bem como revoga os decretos que especifica. Disponível em: <https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-58701-de-4-de-abril-de-2019>. Acesso em: 06 jun. 2023.

SÃO PAULO (município). Resíduos Orgânicos - Compostagem em São Paulo. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/spregula/residuos_solidos/index.php?p=283430. Acesso em: 30 set. 2023.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. A.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos. Outubro. 97 p. 2002.

SCHALCH, V.; CASTRO, M. A. S.; CORDOBA, R. E. **Tratamento e disposição final ambientalmente adequada de Resíduos Sólidos Urbanos**. 1ª. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. 52p. 2015.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Desafios e Oportunidades para Redução das Emissões de Metano no Brasil**. Observatório do Clima, outubro 2022. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG_METANO_2022_FINAL.pdf. Acesso em: 24 set. 2023.

SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 243–264, 2015.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues** / New York : McGraw-Hill, 978 p. 1993.

UN DESA. – UNITED NATIONS – DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. **World population prospects 2019: highlights**. New York: United Nations, 2019. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 12 jul. 2021.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. CCAC CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION. **Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions**. Nairobi: United Nations Environment Programme. 173 p. 2021. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35913/GMA.pdf>. Acesso em: 26 set. 2023.

VÁZQUEZ, M. A.; SOTO, M. The efficiency of home composting programmes and compost quality. **Waste Management**, v. 64, p. 39–50, 2017.

VIEIRA, V. H. A. M.; SANTOS, L. F. **Novos modelos de compostagem nas cidades: integrando reciclagem, agricultura e moradia**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Pólis, 2023. Disponível em: https://polis.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Estudo_Novos-modelos-de-compostagem-nas-cidades_-integrando-reciclagem-agricultura-e-moradia.pdf. Acesso em: 11 set. 2023.

WILSON, D.C., RODIĆ, L., COWING, M.J., VELIS, C.A., WHITEMAN, A.D., SCHEINBERG, A., VILCHES, R., MASTERSON, D., STRETZ, J., OELZ, B. 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. **Waste Management**, v. 35, p. 329-342, 2015.