



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
AMBIENTE, SAÚDE E SUSTENTABILIDADE**



TALLITA EDUARDA DA VEIGA

**RESÍDUOS DE PODAS E APARAS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA URBANA:
ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO E
PRÁTICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**

**SÃO PAULO
2023**



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
AMBIENTE, SAÚDE E SUSTENTABILIDADE**



TALLITA EDUARDA DA VEIGA

Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana: estudo exploratório sobre os instrumentos de gestão e práticas no município de São Paulo.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ednilson Viana

SÃO PAULO

2023

É expressamente proibida a comercialização deste documento tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitido exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

Catálogo da Publicação

Serviço de Documentação

Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo

Da Veiga, Tallita Eduarda

Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana: estudo exploratório sobre os instrumentos de gestão e práticas no município de São Paulo.

Nº Fls. F.: 58 il,

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2023

DA VEIGA, Tallita E., Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana: estudo exploratório sobre os instrumentos de gestão e práticas no município de São Paulo - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2023.

FOLHA DE APROVAÇÃO (DISSERTAÇÃO)

DA VEIGA, Tallita Eduarda

Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana: estudo exploratório sobre os instrumentos de gestão e práticas no município de São Paulo.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. O Dr.

Instituição:

Julgamento:

Assinatura:

Prof. O Dr.

Instituição:

Julgamento:

Assinatura:

Prof. O Dr.

Instituição:

Julgamento:

Assinatura:

Dedico este trabalho aos meus avós Maria Alves da Veiga (*in memoriam*) e Benito Vergilio da Veiga (*in memoriam*), que certamente estariam orgulhosos e felizes por mim.

AGRADECIMENTOS

Ao corpo docente, técnico e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP), em especial à Prof. Dra. Wanda Risso Günther, pela competência, atenção e cuidado para com os alunos da turma de 2020 em meio a um cenário de incertezas, impossibilidades e restrições causadas tanto pela pandemia de Covid-19, como pelo cenário político vivenciado neste período.

Ao Prof. Dr. Ednilson Viana pela orientação, respeito, apoio, confiança e paciência ao longo dessa trajetória.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, em especial a minha parceira de corridas de rua Luana Freitas, e ao colega de muitas noites de reunião para publicação de trabalho, André Simas.

A minha mãe, minha maior conselheira, a qual devo meus ideais e valores.

Ao meu pai, pelo apoio e incentivo.

A minha maior rede de apoio, Isabela, Maykon e Nickolas, que me ensinam diariamente sobre amor e calma.

A família Fonseca, em especial a saudosa Dona Odise (*in memoriam*), pelo acolhimento, cuidado e amor dos últimos anos.

A todos os filhos, netos e sobrinhos pets que cercam minha vida de felicidade.

Ao coletivo de mulheres incríveis do VESPAS.BG, que em 2022 ressignificaram meu sentimento de pertencimento à cidade de São Paulo. LALALALAIIII.

Por fim, a mim mesma, por não me deixar desistir de concluir essa etapa da minha trajetória acadêmica, mesmo em meio ao período de maiores medos, incertezas e dificuldades da minha vida adulta.

RESUMO

DA VEIGA, Tallita E., **Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana: estudo exploratório sobre os instrumentos de gestão e práticas no município de São Paulo, 2023**. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2023.

Os resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea são gerados a partir de atividades públicas e privadas, institucionais, domésticas, comerciais, industriais, agrícolas e, principalmente, urbanas. São classificados como resíduos de natureza orgânica por apresentarem degradabilidade espontânea e, por este motivo, podem reciclar seus nutrientes em processos naturais de decomposição. No entanto, ao contrário dos demais resíduos orgânicos, as podas e aparas arbóreas apresentam diversas características favoráveis a métodos de aproveitamento que vão além da simples degradação controlada pela técnica de compostagem. Apresentam pouca contaminação com demais materiais e possuem alta relação carbono/nitrogênio, fatos que auxiliam na triagem e manejo adequado, permitindo métodos de aproveitamento por processos físicos e bioquímicos, e o aproveitamento em rotas energéticas, respectivamente. Hoje, pela lei brasileira, é obrigatório que haja coleta seletiva em três frações entre os recicláveis, compostáveis e os rejeitos. Além disso, a Lei Federal 12.305 de 2010 estabelece que apenas os rejeitos sejam encaminhados à disposição final em aterros sanitários. Apesar disso, devido a diversidade de atividades responsáveis pela produção de podas e aparas arbóreas, seus índices de geração são cada vez mais expressivos nos centros urbanos, cerca de 50 mil toneladas ao ano, fato que representa uma série de problemas ambientais e operacionais, uma vez que sua disposição final são majoritariamente os aterros sanitários, sem passar por qualquer processo de aproveitamento. Diante disto, este trabalho buscou trazer luz à temática dos resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea no município de São Paulo, tipologia de resíduos ainda pouco explorada no âmbito da gestão municipal, a partir da avaliação dos instrumentos de gestão municipal e das práticas e ações municipais que auxiliam no manejo e destinação adequadas. Para isso, buscou-se o levantamento de dados qualitativos relevantes ao estudo e, a partir das informações coletadas, foi realizada uma análise exploratória comparativa entre as normativas e ações de gestão municipal. De um modo geral, com base nessa análise, constatou-se que apesar da temática de podas e aparas arbórea urbanas possuir alicerce em oito instrumentos de gestão municipal bastante estruturados, não há um conjunto de práticas e ações municipais eficientes que garantam o manejo e destinação adequado por meio de rotas de aproveitamento.

Palavras-chave: Resíduos de podas e aparas, Métodos de Aproveitamento, Manejo e Destinação Adequada, Instrumentos de Gestão Municipal.

ABSTRACT

DA VEIGA, Tallita E., Pruning waste from urban tree vegetation: exploratory study on management instruments and practices in the city of São Paulo, 2023. 58 p. Dissertation (Master's) - Faculty of Public Health of the University of São Paulo, 2023.

The residues from pruning tree vegetation are generated from public and private, institutional, domestic, commercial, industrial, agricultural and, mainly, urban activities. They are classified as residues of an organic nature because they present spontaneous degradability and, for this reason, can recycle their nutrients in natural decomposition processes. However, unlike other organic residues, tree pruning has several characteristics favorable to methods of use that go beyond simple degradation controlled by the composting technique. They show little contamination with other materials and have a high carbon/nitrogen ratio, facts that help in the screening and proper handling, allowing methods of use by physical and biochemical processes, and use in energy routes, respectively. Today, by Brazilian law, it is mandatory that there be selective collection in three fractions between recyclables, compostables and waste. In addition, Federal Law 12,305 of 2010 establishes that only waste is sent for final disposal in landfills. Despite this, due to the diversity of activities responsible for the production of pruning and trees, their generation rates are increasingly expressive in urban centers, around 50 thousand tons per year, a fact that represents a series of environmental and operational problems, since that its final disposal is mostly sanitary landfills, without going through any process of use. Given this, this work sought to shed light on the issue of waste from pruning tree vegetation in the city of São Paulo, a typology of waste still little explored in the scope of municipal management, based on the evaluation of municipal management instruments and municipal practices and actions that help in the proper handling and disposal. For this, we sought to collect qualitative data relevant to the study and, based on the information collected, a comparative exploratory analysis was carried out between the regulations and actions of municipal management. In general, based on this analysis, it was found that although the theme of urban tree pruning is based on eight well-structured municipal management instruments, there is no set of efficient municipal practices and actions that guarantee the proper handling and disposal by means of utilization routes.

Keywords: Pruning residues, Use Methods, Appropriate Management and Disposal, Municipal Management Instruments.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
GEE - Gases do Efeito Estufa
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PIB - Produto Interno Bruto
ONU - Organização das Nações Unidas
ABRELPE - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos
CDR - Combustível Derivado de Resíduo
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
LAPA - Leiras de Arquitetura Projetada para a Aeração
CCAC - Climate and Clean Air Coalition
ISWA - International Solid Waste Association
ABREN - Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
IEA - International Energy Agency
PCS - Poder Calorífico Superior
PCI - Poder Calorífico Inferior
AMLURB - Autoridade Municipal de Limpeza Urbana
ROD - Resíduos Sólidos Orgânicos Domésticos
SMS - Secretaria Municipal de Subprefeituras
SELIMP - Secretaria Executiva de Limpeza Urbana
ATOS - Assessoria Técnica de Obras e Serviços
SVMA - Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente
DEPAVE - Departamento de Parques e Áreas Verdes
PGIRS - Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PAMPA - Programa de Aproveitamento de Madeira de Poda de Árvores
PMMA - Plano Municipal da Mata Atlântica
PDE - Plano Diretor Estratégico
PMAU - Plano Municipal de Arborização Urbana
PEV - Pontos de Entrega Voluntária
PlanClimaSP - Plano de Ação Climática do Município de São Paulo
SISCOR - Sistema de Controle de Resíduos Sólidos Urbanos
SISGAU - Sistema de Gestão da Arborização Urbana
ATT - Área de Transbordo e Triagem

DE FIGURAS

FIGURA 1 - Estimativa dos resíduos de manejo arbóreo encaminhados a aterros sanitários no município de São Paulo entre 2015 e 2019

21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Fluxos de geração dos resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea	19
TABELA 2 - Pegada de carbono de quatro cenários de destinação de resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas	22
TABELA 3 - Aproveitamento de podas e aparas em diferentes setores econômicos	24
TABELA 4 - Fontes de biomassa e seus respectivos valores de poder calorífico em processos termoquímicos	33
TABELA 5 - Análise comparativa entre aspectos normativos vigentes e práticas e ações desempenhadas pelo município de São Paulo em relação aos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas, bem como análise dos métodos cabíveis a cada instrumento	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	17
3.2 RESÍDUOS DE PODAS E APARAS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA	19
3.3 MÉTODOS DE APROVEITAMENTO	23
3.3.1 Processos Físicos	25
3.3.2 Processos Bioquímicos	28
3.3.3 Aproveitamento em Rotas Energéticas	29
4. METODOLOGIA	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO MUNICIPAL	38
5.1.1 Estrutura Organizacional da Gestão Municipal	38
5.1.2 Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS-2014)	39
5.1.3 Programa de Aproveitamento de Madeira de Poda de Árvores	40
5.1.4 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos	41
5.1.5 Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica	41
5.1.6 Plano Municipal de Arborização Urbana	41
5.1.7 Lei da Poda	41
5.1.8 Programa de Metas da Gestão Municipal - 2021-2024	42
5.1.9 PlanClimaSP 2020-2050	42
5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PRÁTICAS E AÇÕES MUNICIPAIS	42
6. CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea são gerados principalmente a partir de atividades urbanas, mas também em atividades públicas e privadas, institucionais, domésticas, comerciais, industriais e agrícolas. São classificados como resíduos orgânicos pois apresentam biodegradabilidade espontânea e por seus componentes se reciclarem em processos naturais de decomposição. São gerados em grande abundância pelos centros urbanos e apresentam diversas características favoráveis ao manejo e destinação adequada e processos de aproveitamento, como por exemplo a pouca contaminação com demais tipos de resíduos e a elevada relação carbono/nitrogênio.

Explorar métodos de aproveitamento destes resíduos, desviando-os dos aterros sanitários, pode ser fundamental para a reciclagem biológica de nutrientes e de matéria orgânica nos centros urbanos, com vistas a regenerar a fertilidade natural, ampliar a retenção de água pelo solo, produzir alimentos e sequestrar carbono atmosférico. Os métodos de aproveitamento disponíveis podem mitigar emissões, em especial de metano, enquanto que o aproveitamento específico em rotas energéticas ainda contribui para substituir fontes de energia não renováveis, como visto em muitos exemplos em países europeus.

No entanto, na atualidade, as podas e as aparas arbóreas urbanas possuem baixo índice de aproveitamento e têm como principal destino os aterros sanitários ou aterros de inertes, quando o município dispõe destas estruturas. Em muitos casos, são dispostos em aterros controlados ou mesmo em disposição a céu aberto (lixões), quando não são simplesmente acumulados em deposições irregulares para lenta degradação, causando impactos ambientais, econômicos e à saúde da população exposta.

As podas e aparas arbóreas não possuem tanta evidência em discussões a respeito de planejamentos ambientais quando comparadas aos demais resíduos de natureza orgânica. Além disso, a maior parte dos municípios brasileiros não possuem políticas específicas, destinação adequada ou planos de reaproveitamento voltadas a esta tipologia, fazendo com que apenas uma pequena parcela do coletado seja utilizada em pátios de compostagem (MEIRA, 2010; CORTEZ, 2011).

Essa disposição em aterros sanitários, além de ir contra as premissas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da Lei Municipal 17.267 de 2020, denominada Lei da Poda, representa uma série de problemas ambientais e operacionais ao próprio aterro, reduzindo sua vida útil, além de favorecer a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) na

atmosfera devido a logística de coleta e transporte (MEIRA, 2010; CORTEZ et al, 2009; BRASIL, 2010).

Tanto o aproveitamento físico e bioquímico, como o aproveitamento em rotas energéticas dos resíduos de podas e aparas arbóreas são capazes de proporcionar economia de recursos e mitigar a emissão de GEE, além de alinhar-se aos princípios tanto da PNRS como dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e Economia Circular (JACOBI; BESEN, 2011; CORTEZ, 2011; ELLEN MCCARTHUR FOUNDATION, 2019).

O município de São Paulo, recorte do levantamento de dados deste trabalho, dispõe de um conjunto de instrumentos de gestão, cujo objeto de estudo e objetivos são voltadas às podas e aparas arbóreas, que auxiliam no planejamento de práticas e ações e estabelecem metas de gestão ambiental, manejo e destinação adequada. No entanto, esses instrumentos são complementados com um pequeno número de práticas e ações municipais, que não exploram todos os métodos de valorização e não são integradas no âmbito da destinação adequada. Assim, torna-se relevante conhecer e desenvolver métodos de aproveitamento apropriados aos grandes volumes gerados e às diversas fontes de geração no meio urbano, bem como avaliar como os instrumentos de gestão podem auxiliar no manejo e destinação adequado a partir de processos integrados de coleta, triagem, caracterização e classificação, métodos de aproveitamento *in loco* e destinação adequada para as rotas de aproveitamento existentes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os instrumentos de gestão municipal vigentes e as práticas e ações municipais relacionadas aos resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os instrumentos de gestão de podas e aparas de vegetação arbórea vigentes no município de São Paulo.
- Identificar práticas e ações de gestão municipal de podas e aparas.
- Descrever práticas e ações de manejo e destinação adequadas de podas e aparas.
- Avaliar estratégias que auxiliem no manejo e destinação adequada das podas e aparas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com Boulding (1966), a economia mundial pode ser entendida como um sistema linear aberto em relação a três classes principais de entradas e saídas: sistemas de matéria, energia e informação. Esses sistemas envolvem a produção de capital através da exploração de insumos energéticos naturais e a posterior distribuição dos resíduos em reservatórios não econômicos, que por sua vez não entram no sistema de câmbio.

Assim, é possível identificar que há uma relação direta entre o desenvolvimento econômico e poder de compra de um país através dos índices de geração residual, reciprocamente. No entanto, a gestão desses depósitos residuais, por não entrarem no sistema cambial, ficam subordinados a fatores externos, como aspectos sociais, econômicos e políticos (MARTINI, 2016).

As principais variáveis relevantes para a escolha de destinação de resíduos são densidade populacional e Produto Interno Bruto (PIB) per capita, isso porque: quanto mais densa a região, maior o custo do metro quadrado e por consequência torna-se menos atrativo o investimento na construção de aterros sanitários e centrais de triagem; quanto maior a renda, maior será a fração de resíduos sólidos gerados.

Entende-se que a gestão desses depósitos residuais tem sido um dos grandes desafios da humanidade, principalmente no contexto pós revolução industrial, onde a produção de bens de consumo não duráveis aumentou significativamente e teve como efeito mais deletério o exponencial da deposição de resíduos urbanos (BOULDING, 1966).

Um exemplo mais recente de externalidades que impactam aos depósitos residuais foi a pandemia de Covid-19, que de acordo com a ABRELPE (2022), foi responsável de instalar uma nova dinâmica social com novos modelos de trabalho, comércio, serviços e intensificação de delivery, exercendo influência direta nos processos de consumo e geração de resíduos.

A geração de resíduos sólidos atingiu um estágio tão significativo nas últimas décadas que passou a ser abordada em diferentes políticas públicas brasileiras e internacionais, como a Política Nacional do Meio Ambiente - Lei nº. 6.938/1981 -, Política Nacional de Saneamento Básico - Lei nº 11.445/2007 -, Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010 - e também os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), metas

globais determinadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) dentro da Agenda Local 2030 (BRASIL, 1981; BRASIL, 2007; BRASIL, 2010; ONU, 2015).

Apesar das medidas e do compromisso com políticas públicas, há ainda um longo caminho para que se tenha a efetiva estruturação de práticas e ações, seja no aspecto coletivo como sociedade, como no aspecto individual. De acordo com o último Panorama de Resíduos Sólidos produzido pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE), em 2022 a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil chegou a 81,8 milhões de toneladas, sendo gerados expressivamente na região sudeste, cerca de 50% da geração nacional.

Os registros de descarte inadequado dos coletados chegam a cerca de 40% (ABRELPE, 2022). É importante ressaltar que, uma vez que o resíduo é coletado e destinado à instalações inadequadas, como por exemplo lixões, torna-se inviável o seu reaproveitamento em qualquer aspecto. Além disso, do total de RSU gerados no Brasil, nem 2% é reciclado, isso considerando tanto os recicláveis secos como os orgânicos (SNIS, 2021).

Entende-se por Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), dentre outros, resíduos gerados em residências urbanas a partir de atividades domésticas e os resíduos de limpeza urbana, originários principalmente por serviços públicos de varrição, limpeza de logradouros e praças, bosques e serviços de podas da vegetação arbórea e arbustiva (BRASIL, 2010; CORTEZ, 2011; ZAGO; BARROS, 2019).

Seu manejo envolve uma série de processos e fluxos que compõem as chamadas rotas tecnológicas do RSU, que começa necessariamente no ponto de geração, onde serão coletados de forma indiferenciada (convencional) ou diferenciada (coleta seletiva). É importante destacar que para que haja coleta diferenciada, é indispensável que os resíduos recicláveis secos sejam segregados na fonte geradora para que não se misturem com os recicláveis orgânicos.

Uma vez que o município não dispõe de sistema de coleta seletiva, os rejeitos são coletados juntamente aos recicláveis secos e orgânicos e, como mencionado, seu aproveitamento e reciclagem nas unidades de tratamento são inviabilizados (SNIS, 2021). Os resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea, escopo principal deste trabalho, são gerados a partir não só de serviços de limpeza urbana, mas também em grandes quantidades por outras fontes, como produtores de frutas e grãos, secretarias municipais na prestação de serviços ambientais e de manutenção da rede elétrica através das podas de controle, por

empresas de jardinagem e limpeza de terrenos, por institutos de ensino, companhias de armazenamento e abastecimento, dentre outros. É evidente, portanto, que os resíduos de

podas e aparas pertencem a mais de um fluxo de geração, coleta e manejo, e por esse motivo apresentam grande complexidade de gerenciamento específico, como mostrado na Tabela 1.

Apesar da complexidade e dificuldade de implementação, sabe-se que mediante a um processo de segregação na fonte, classificação e caracterização, manejo adequado e rotas de tratamento, não só os resíduos de podas e aparas, mas todos os recicláveis, podem apresentar características de biomassa residual de qualidade com potencial de aproveitamento em diversos setores econômicos e em rotas energéticas na forma de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) (BOSMANS; HELSEN, 2010; JUNIOR, 2014; DE MIRANDA; MARTINS; LOPES, 2019).

Tabela 1 - Fluxos de geração dos resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea.

Tipo de Resíduo	Componente	Fontes Primárias
Resíduos de vegetação arbórea	Resíduos de folhas, galhos, troncos e raízes	Serviços de manutenção e poda de controle
Resíduos de jardinagem	Resíduos de poda e jardinagem	Parques, jardins, domicílios
Resíduos de limpeza de ruas	Resíduos de varredura, folhas e conteúdo de lixeiras	Ruas e logradouros públicos municipais
Entulho	Madeiras, móveis, restos de construção e materiais plásticos	Domicílios e centros comerciais
Resíduos agrícolas	Biomassa florestal	Colheita de frutas e grãos

Fonte: Adaptado de BELTRAME (2018).

3.2 RESÍDUOS DE PODAS E APARAS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA

As podas e aparas de vegetação arbórea podem ser definidas como resíduos de natureza orgânica lignocelulósica, pertencendo tanto a biomassa florestal quanto residual urbana (MEIRA, 2010). Apesar da classificação, esse tipo de resíduo é composto por uma mistura heterogênea de espécies arbóreas, arbustivas e gramíneas com diversos estados fitossanitários. Variam tanto em composição química como em volume, umidade e densidade aparente, contendo desde aparas de gramíneas, folhagens verdes e secas, flores e sementes, gravetos, cascas de árvores, galhos finos e grossos, troncos e raízes. No caso de remoções de árvores inteiras, os troncos e raízes podem ter vários metros de diâmetro, dificultando a operação e manejo.

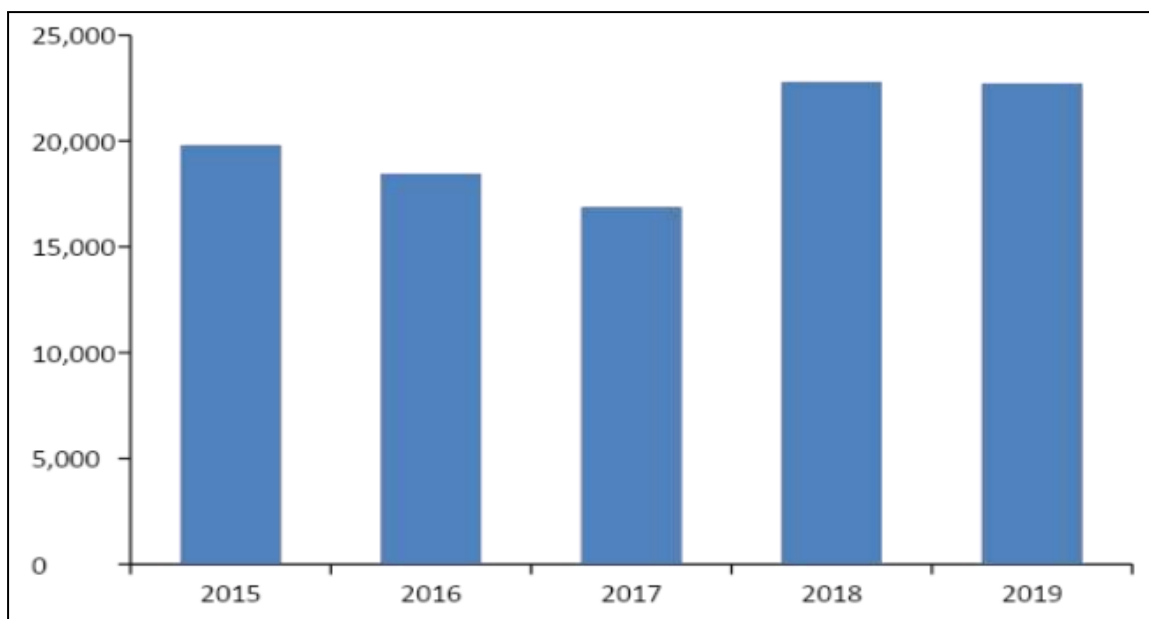
Sua geração está associada a serviços públicos municipais e privados de manutenção da vegetação arbórea e arbustiva, tanto em âmbito urbano, praças e logradouros, como em parques, bosques, áreas verdes e jardins. Além disso, companhias distribuidoras de energia elétrica, empresas de jardinagem e limpeza de terrenos, instituições públicas e privadas que possuem grandes áreas verdes ou ajardinadas e centrais de abastecimento de alimentos que geram grandes quantidades de aparas de gramíneas utilizadas para acomodar frutas no transporte, também representam fontes relevantes de geração desse tipo de resíduo (CORTEZ, 2011).

A geração desse tipo de resíduo também está sujeita a fatores de sazonalidade, grande heterogeneidade na composição, dispersão geográfica e picos de geração, devido a intemperismos físicos e biológicos do solo. Ventos fortes, por exemplo, podem abalar a sustentação de indivíduos arbóreos e gerar quedas de árvores, troncos e galhos grossos, fazendo com que cerca de 776 árvores caíssem em 2021, só no município de São Paulo. Nas 32 subprefeituras do município de São Paulo é possível identificar grande disparidade em relação aos índices de geração das podas e das aparas, causada pelas diferentes condições de urbanização, construções e arborização urbana de cada região.

Em 2019, por exemplo, o município de São Paulo gerou cerca de 23 mil toneladas de resíduos de podas e aparas que foram integralmente destinadas a aterros sanitários, sem passar por qualquer processo de aproveitamento. A Figura 1 mostra a estimativa de destinação desses resíduos aos aterros sanitários no período de 2015 a 2019. É importante destacar, no entanto, que esses dados excluem outras fontes de geração de podas e aparas, como por exemplo os pequenos geradores encaminhados para a coleta regular, que também são encaminhados para aterros sanitários ou, quando a quantidade ultrapassa 200 L/dia e até 1m³, para Ecopontos, cujo destino são os aterros de inertes. Sendo assim, o número de geração anual pode ser muito mais expressivo do que os registrados pelos dados de coleta e destinação da prefeitura, podendo chegar até 50 mil toneladas, só no ano de 2019.

No ambiente urbano, equipes de frentes de poda e remoção de árvores podem ter que operar rapidamente em algumas situações críticas onde haja riscos à integridade física das pessoas, edifícios e veículos, bem como podem ocorrer interferências no tráfego, rede elétrica, de comunicação ou de abastecimento de água e coleta de esgotos. Nessas situações, os resíduos de podas e aparas podem se misturar com outros resíduos, como terra, resíduos de construção civil, resíduos de desastres e outros, dificultando ou impedindo por completo seu manejo e destinação adequada para posterior aproveitamento.

Figura 1 - Estimativa dos resíduos de manejo arbóreo encaminhados a aterros sanitários no município de São Paulo entre 2015 e 2019.



Fonte: AMLURB (2020), citado por PMAU (2020).

O gerenciamento desses resíduos envolve, geralmente, o trabalho de equipes treinadas e tecnicamente supervisionadas, dotadas de equipamento, motosserras e caminhões com ou sem trituradores de galhos acoplados. A logística envolve a coleta, o transporte e a destinação a aterros sanitários, onde são dispostos juntamente com os resíduos sólidos urbanos da coleta indiferenciada, ou a aterros específicos, como os aterros de inertes, sendo que pequena fração é utilizada como matéria seca estruturante em projetos municipais de pátios de compostagem (BRASIL, 2019; SÃO PAULO, 2014).

Quando deixados em locais de acumulação, mesmo que transitoriamente, esses resíduos propiciam abrigo e funcionam como criadouros para fauna sinantrópica nociva, vetores de doenças à população exposta e outros animais. Porém, quando dispostos em aterros, devido principalmente à composição, produzem gás metano e gás carbônico, que ao serem lançados na atmosfera representam grande quantidade de gases do efeito estufa (GEE), representando maior pegada de carbono, além de aumentar os riscos de combustão e acidentes (MEIRA, 2010).

Em grande volume, ou em peças únicas de maior tamanho como troncos e raízes de árvores, podem ainda criar espaços vazios nas células dos aterros sanitários ao final de seu lento processo de degradação e, associados à má drenagem de líquidos e gases, contribuir para rupturas e deslizamentos da massa de resíduos (ABPL, 2019).

No município de São Paulo, os resíduos dispostos em aterros sanitários são responsáveis pela emissão de 4% de todos os GEE do município (CENEVIVA e PEDÓ, 2020). Esse resíduo ocupa grande volume e possui degradação mais lenta, quando comparada aos demais resíduos orgânicos, o que diminui a vida útil dos aterros, aumentando os custos de manutenção, os impactos no solo e os riscos associados às interações químicas e biológicas com outros resíduos perigosos preexistentes no local (CORTEZ, 2008).

Um trabalho realizado em João Pessoa/PB investigou os impactos ambientais de disposição de resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea em diferentes cenários, como forma de auxiliar nas decisões e orientações políticas, para esse tipo de resíduo, em cumprimento às metas determinadas pelo Plano de Ação João Pessoa Sustentável de 2014. Neste trabalho, o impacto ambiental foi determinado a partir da pegada de carbono (Kg CO₂ eq/t de poda) de quatro disposições distintas de podas e aparas (com o mesmo processo de coleta): simples disposição em aterro; disposição em aterro com coleta de metano; incineração; reaproveitamento.

O reaproveitamento, que neste caso foi a briquetagem, foi o cenário de destinação com a menor pegada de carbono, enquanto que a simples disposição em aterro representou a maior pegada de carbono dos quatro cenários abordados (Tabela 2). Neste sentido, vale destacar que uma boa logística de aproveitamento de podas e aparas começa com uma logística efetiva de coleta, que por sua vez depende exclusivamente da demanda e do planejamento urbano da região.

Tabela 2 - Pegada de carbono de quatro cenários de destinação de resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas.

Destinação dos resíduos	Pegada de carbono, em t CO₂ eq (resíduos + coleta)	Kg CO₂ eq/t poda
Simple disposição em aterro	1,670	3690 136,34
Aterro com coleta de metano	1,670	3070 113,43
Incineração	1,670	1929 71,31
Aproveitamento (briquete)	1,670	754 27,82

Fonte: Adaptado de ARAÚJO, GÓIS, JÚNIOR, et al. (2018).

Por outro lado, a Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ao estabelecer que somente os rejeitos sejam encaminhados à disposição final em aterros sanitários, ao mesmo tempo em que define *rejeito* como resíduos que somente “depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por

processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”, proíbe o envio de resíduos recicláveis e compostáveis aos aterros sanitários. Dentre eles estão os resíduos de podas e aparas, que apresentam características de composição que permitem variados processos tecnológicos de aproveitamento que estão disponíveis e são economicamente viáveis (BRASIL, 2010).

Os resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea são compostos principalmente de celulose, hemicelulose e lignina em estruturas com aproximadamente 44% de oxigênio, 50% de carbono, 6% de hidrogênio e até 1% de nitrogênio (NEVES, 2018; LOPES, MARTINS e MIRANDA, 2019). Essa alta relação carbono/nitrogênio, relacionada aos elevados índices de lignina, torna este tipo de resíduo ideal para uso em processo de compostagem aeróbia-termofílica como estruturante em mistura com resíduos putrescíveis como restos de comida e lodos de esgotos (GALVÃO, 2019) e em potencial fonte energética em processos termoquímicos, apresentando aproximadamente 19 MJ/Kg de poder calorífico inferior, além de possuir baixa temperatura de ignição, baixa energia de ativação e elevada taxa de combustão (SILVA, 2016; NEVES, 2018).

3.3 MÉTODOS DE APROVEITAMENTO

Apesar das propriedades destacadas e dos diversos métodos de aproveitamento disponíveis (Tabela 3), as podas e as aparas arbóreas não são exploradas por nenhuma atividade industrial e estão desarticuladas de cadeias econômicas relevantes, frustrando expectativas de práticas e ações sob os princípios da Economia Circular (ELLEN MCCARTHUR FOUNDATION, 2019; MORI, STOREL JUNIOR, FRANCO, ABREU, CUERBAS e DE ASSIS, 2016) e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Ao estruturar um sistema de gestão e manejo para destinação adequada dos resíduos de podas e aparas arbóreas que esteja alinhado aos ODS, torna-se tangível benefícios não só ambientais, como redução da pegada de carbono desses resíduos e aumento da vida útil dos aterros sanitários, mas também socioeconômicos e sociais, com o aumento da arrecadação de impostos relacionados à comercialização dos produtos resultantes dos processos de aproveitamento e redução na taxa de desemprego e inclusão social da população em caráter de vulnerabilidade social, respectivamente (SOUZA, GUIMARÃES e VELASCO, 2020).

Para isso, torna-se fundamental que cada município, de acordo com sua realidade e interesses, selecione os melhores métodos de aproveitamento dos resíduos de podas e aparas arbóreas através de uma análise de viabilidade técnica, social, econômica e ambiental.

Tabela 3 - Aproveitamento de podas e aparas em diferentes setores econômicos.

Setor Econômico	Aproveitamento
Construção Civil	Fabricação de produtos de madeira
	Aproveitamento do pó de serra como agregado para confecção de blocos de concreto
	Fabricação de materiais de construção a partir de compósitos celulósicos
Agricultura, paisagismo e recuperação ambiental	Uso no processo de compostagem
	Uso como fertilizante orgânico composto
	Uso como remediador de áreas contaminadas
	Uso como serragem em cama de aves
Decoração e design	Uso para condicionamento e proteção de solos
	Confecção de artigos esportivos, pedagógicos, brinquedos e pequenos objetos de madeira para uso geral
	Confecção de obras de arte sustentáveis
Indústria química	Confecção de mobiliários
	Fabricação de resinas plásticas
	Fabricação de colas
Rotas energéticas	Fabricação de essências a partir da extração de óleos e resinas
	Produção de biocombustíveis sólidos para energia térmica e elétrica
	Bioetanol por meio de hidrólise ácida e fermentação de açúcares
	Gaseificação da madeira

Fonte: Adaptado de SOUZA, GUIMARÃES e VELASCO (2020)

De um modo geral, do ponto de vista da sustentabilidade, é importante destacar que o simples manejo de segregação de outros tipos de resíduos na própria origem, segregação por tamanhos e formas e até mesmo por características morfológicas, já fomentam o aproveitamento a partir de processos físicos, como a trituração. Tais ações, por si só, são capazes de proporcionar benefícios tanto ambientais quanto econômicos, e abrem maiores possibilidades de rotas de aproveitamento por processos bioquímicos e termoquímicos na perspectiva de rotas energéticas, onde os resíduos de podas e aparas arbóreas recebem a denominação de *biomassa residual* (SOUZA, CARNEIRO, VITAL e BARBOSA, 2020; SOUZA, GUIMARÃES e VELASCO, 2020).

Correia, Machado, Almeida, et al., (2022), em análise cienciométrica sobre o tema dos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas, exploram temas básicos e motores em comum em trabalhos publicados no tema nas últimas décadas. Neste caso, entende-se por temas básicos os tópicos gerais transversais às diferentes áreas de pesquisa, e temas motores os que são bem desenvolvidos, fundamentais à estruturação do campo de pesquisa, analisado e caracterizado por alta densidade e centralidade.

Os autores concluíram que os principais temas básicos a respeito dos resíduos de podas e aparas arbóreas, em ordem prioritária, foram: composto; compostagem; biomassa; gaseificação; pirólise; sustentabilidade; resíduos agrícolas; economia circular e lignina. Já os temas motores identificados, em ordem prioritária, foram: bioenergia; energia renovável; biomassa residual urbana; relações alométricas; torrefação; floresta urbana. Nota-se, portanto, que apesar de existirem diversas alternativas ao aproveitamento dos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas, há uma tendência em priorizar métodos cada vez mais voltados ao aproveitamento em rotas energéticas e estabelecer relações alométricas que auxiliem na gestão, classificação e caracterização e manejo adequado.

Em trabalhos atuais que abordam a temática há um senso em comum a respeito da classificação dos métodos de aproveitamento para esses resíduos, que envolvem processos físicos e bioquímicos, bem como métodos de aproveitamento em rotas energéticas, objetivando a valorização da biomassa residual (SANTOS, TEIXEIRA, KNISS e BARBIERI, 2016). Vale destacar que, do ponto de vista energético, a biomassa residual pode ser definida como:

“qualquer recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado para produção de energia”

(GBIO-USP, 2022)

3.3.1 Processos Físicos

Os processos físicos correspondem aos métodos de adensamento do resíduo de poda e aparas como forma de geração da biomassa residual a partir de trituração, peletização e briquetagem (CORTEZ, 2011). Mesmo em grandes volumes, as podas e aparas apresentam baixa densidade e alto teor de umidade, com exceção dos troncos e raízes. Essas condições dificultam sua utilização em processos de aproveitamento nas escalas necessárias. A trituração realizada nas frentes de serviço de podas e jardinagem e demais locais de

geração, acoplada a caminhões basculantes, pode resultar em grande vantagem logística: a capacidade de transporte do material triturado equivale a 27 vezes o número de viagens necessárias, quando utilizado veículos convencionais e sem trituração (ENEL, 2022).

A heterogeneidade da biomassa residual de variadas espécies vegetais com diferentes condições fitossanitárias e já parcialmente degradadas não constitui nenhum empecilho ao aproveitamento pela compostagem, que nada mais é que uma degradação natural controlada. No entanto, para conversão da biomassa residual termoquimicamente, justifica-se a realização de algum processo físico, justamente devido à heterogeneidade e características físicas das podas e aparas que podem reduzir sua eficiência de conversão (PRADHAN, MAHAJANI e ARORA, 2018).

A briquetagem e a peletização são usadas como método de elevação da densidade, diminuição da umidade e aumento do teor energético de resíduos de podas e aparas para posterior conversão por processos termoquímicos. Tais práticas aumentam a eficiência energética em cerca de 75%, assim como reduzem a emissão de partículas e gases poluentes como o monóxido de carbono (SILVA, 2016).

Os trituradores de galhos usados em resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas podem ser acoplados aos caminhões de coleta para trituração no local de origem, em geral com bitolas de até 20 cm de diâmetro, como também permanecer em instalações fixas em pontos de unidades de transbordo distribuídas estrategicamente pelo município, caso em que podem ter bitolas maiores e garras capazes de triturar galhos grossos e troncos. Os trituradores de galhos para podas urbanas produzem cavacos de tamanho reduzido (aproximadamente 10 mm) usando sistema de facas (lascas) ou sistema *schredder* (estilhaçamento), sendo este último ideal para acelerar a degradação da lignina no processo de compostagem (GALVÃO, 2019).

A produção de *pellets* começa com a geração da matéria-prima e após seleção das partes mais adequadas ao aproveitamento em rotas energéticas e trituração, passa por um processo de uniformização em moinho industrial para padronização das partículas. Os *pellets* formados devem possuir baixo teor de umidade para que tenham alto poder calorífico, fato que implica em um processo de secagem uniforme em secadores rotativos logo após a uniformização das partículas (CORTEZ, 2011; SILVA, 2016).

Após secagem ocorre o processo de compactação, ou peletização, por meio da extrusão da matéria-prima por matriz perfurada, normalmente de aço, em alta pressão e temperatura. Ao final, o produto sai com alta temperatura e maciez, fazendo-se necessário o resfriamento e estabilização do elemento ligante, reforçando as estruturas internas dos

pellets (BOSMANS e HELSEN, 2010; GARCIA, 2010). Em escalas maiores a variação de aspectos morfológicos da matéria prima para produção da biomassa residual deve ser controlada, pois pode, muitas vezes, não resultar em um *pellet* de qualidade em aspectos energéticos e de durabilidade, fator que está relacionado diretamente ao ganho de escala deste método de aproveitamento (GARCIA, 2010).

O uso em larga escala de *pellets* a partir de biomassa residual data do final da década de 1970, no hemisfério norte, como alternativa à crise do petróleo vivenciada na época. Os altos preços forçaram a busca por combustíveis alternativos para uso no setor energético primário, como aquecimento industrial e comercial. No entanto, produzidos apenas a partir de resíduos da indústria madeireira, o mercado de *pellets* só atingiu um ponto considerável no setor energético nos anos 2000 com a entrada de novos produtores e aumento da demanda, chegando a 594 indústrias no final de 2010 (GARCIA, 2010).

De acordo com CORTEZ (2010), estima-se que o consumo mundial de *pellets* em 2018 foi de cerca de 24 milhões de toneladas, tendo como principais consumidores a Europa e a América do Norte. Outros países possuem estudos de casos bem sucedidos sobre geração descentralizada de energia a partir de biomassa residual, como, por exemplo, a Índia, com os resíduos da industrialização de arroz (PRADHAN, MAHAJANI e ARORA, 2018). No Brasil ainda não há regulamentação de mercado para *pellets* para uso energético, no entanto, possui produção anual de cerca de 4 milhões de toneladas de *pellets* de madeira, com potencial para duplicar essa produção, principalmente explorando fontes de matéria prima residual, como os resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas (ESCOBAR, 2016).

O processo de briquetagem difere do processo de peletização em relação à temperatura em que a biomassa residual é submetida (acima de 200°C), em relação ao uso de aglomerantes e em relação ao tamanho usual do produto produzido ser maior quando comparado ao *pellet* (SILVA, 2016). Os briquetes feitos somente a partir de resíduos de podas e aparas não tem boa estabilidade estrutural, sendo necessária a adição de outros resíduos urbanos com bom desempenho como aglomerantes, o que traz desafios para o dimensionamento e operação de grandes volumes (SILVA, 2016).

A baixa estabilidade estrutural dos briquetes de podas pode ser resolvida diminuindo-se para 1,5mm o tamanho das partículas na trituração. Seu uso é mais comum em países em desenvolvimento, especialmente para fins de cocção, mas também apresentam potencial de uso na geração de vapor ou eletricidade, desde que sanados os gargalos de estabilização do briquete, favorecendo seu transporte e armazenamento (SILVA, CONTRI, FARIA e MORAES, 2021).

3.3.2 Processos Bioquímicos

Os processos bioquímicos de aproveitamento dos resíduos de podas e aparas envolvem a degradação biológica a partir da ação metabólica de bactérias e fungos, tanto na presença de oxigênio - processo de compostagem realizado por microrganismos aeróbios -, quanto na ausência dele - processo de biodigestão realizado por bactérias anaeróbias -. Ambos os processos atingem a degradação completa dos resíduos orgânicos e produzem, ao final do processo, produto estabilizado, representado por fertilizante orgânico rico em nutrientes e gases de aproveitamento energético (SILVA, 2016; CORTEZ, 2011).

Compostagem pode ser definida com base na Resolução CONAMA Nº 481/2017, que após estabelecer que o objetivo da compostagem é restabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos, como: “processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos efetuado por uma população diversificada de organismos em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem”.

No município de São Paulo, a partir do método de Leiras Estáticas de Aeração Passiva, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a AMLURB desenvolveu o método de Leiras de Arquitetura Projetada para a Aeração (LAPA), aperfeiçoando o controle dos riscos ambientais, requisito para a operação segura no ambiente urbano, ideal para Pátios de Compostagem de até 30 t/dia de capacidade de processamento (CCAC-ISWA, 2016; GALVÃO, 2019).

Para unidades com capacidades maiores já se encontra operando no Brasil, em Içara, Santa Catarina, a tecnologia importada das leiras estáticas de aeração forçada cobertas com mantas semipermeáveis com camadas internas de teflon expandido, que têm melhor desempenho em capacidade por unidade de área (COMPOSUL, 2019).

Os cinco pátios em atividade desde 2015 (Lapa) e 2018 (Sé, Mooca, São Mateus e Ermelino Matarazzo) atingem com facilidade as temperaturas de sanitização dos resíduos, até o momento não registram reclamação por incômodo de vizinhança e produzem 15 t/dia de composto orgânico de alta qualidade agrônômica atestado por análise do Instituto Agrônômico de Campinas, que é utilizado pela própria prefeitura, doado a agricultores e à população.

Outro método bioquímico é a biossecagem que, diferentemente da compostagem, não busca a degradação biológica completa do resíduo e sua estabilização, mas visa

promover a secagem de resíduos úmidos como lodo de esgotos ou resíduo sólido urbano indiferenciado por meio da oxigenação forçada, contribuindo para acelerar a degradação microbiana, quando as temperaturas podem chegar a mais de 70°C. O objetivo da biossecagem é aproveitar resíduos que seriam destinados a aterros para a produção de combustível derivado de resíduos (CDR).

No entanto, sem a adição de uma fonte importante de resíduos estruturantes e ricos em lignina é muito difícil que o CDR resultante apenas da biossecagem atinja os requisitos técnicos mínimos de poder calorífico. Dessa forma, resíduos de podas e aparas configuram-se como matéria-prima importante no equilíbrio da produção deste tipo de CDR, ao mesmo tempo que contribuem com as estratégias de desvio de lodos de esgotos e resíduos sólidos urbanos dos aterros sanitários (FERREIRA, 2021; VOGEL, 2014).

No processo de biodigestão, ao se estabilizar o resíduo orgânico, além do composto orgânico, é produzido também biogás composto por metano (de 50 a 80%), dióxido de carbono (de 20 a 40%) e sulfeto de hidrogênio (de 1 a 5%) (KARLSSON, et al., 2014). Trata-se de processo que ocorre em fase inicial, onde os compostos orgânicos são convertidos em compostos mais simples, como ácidos voláteis e halogênios, seguido da metabolização destes compostos em gases que irão compor o biogás.

Esse processo é diferenciado da compostagem também por parâmetros operacionais relacionados à temperatura, teor de umidade, tipo de substrato residual utilizado e seu nível de complexidade. Quanto ao biogás pode ser explorado como fonte de energia para diferentes usos a partir do processo de purificação, no qual o dióxido de carbono e demais gases são eliminados para uso como biometano similar ao gás natural (SILVA, 2016; AL-ALAWI et al., 2019).

A partir de uma parceria com a Climate and Clean Air Coalition (CCAC), International Solid Waste Association (ISWA), Instituto de Energia e Ambiente da USP e as Concessionárias da Limpeza Pública, a AMLURB elaborou projetos de Ecoparques de grande escala junto aos atuais aterros sanitários para o Tratamento Mecânico-Biológico da coleta indiferenciada recalcitrante, em que foi prevista a biodigestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos após separação mecânica (BRASIL, 2019b).

3.3.3 Aproveitamento em Rotas Energéticas

Desde o começo da humanidade e ao longo do desenvolvimento econômico e tecnológico, o mundo usou a energia de maneira transitória. Os primeiros símbolos de seu uso vem da mitologia e da própria bíblia na produção de calor pela queima do betume,

mistura líquida de alta viscosidade composto por hidrocarbonetos, cor escura e facilmente inflamável. O uso do fogo é considerado a primeira forma de energia obtida pelo homem e proporcionou as primeiras interações sociais em volta dele principalmente por gerar conforto térmico, segurança e iluminação. A partir dele, houve diversas transições energéticas complexas e sofisticadas usadas em diversas áreas. A energia obtida através do calor foi bastante explorada na forja de metais, como cobre e ligas de ferro, e em diversas outras áreas, tendo como principal matéria prima a biomassa de madeira (ZYLBERSZTAJN, 2020).

Os grandes saltos energéticos foram proporcionados pelas grandes revoluções industriais. Na primeira delas, no século XVIII, a máquina a vapor foi desenvolvida e representou grande potencial energético utilizando como principal matéria prima o carvão mineral. No final do século XIX o mundo mudou completamente com o uso do petróleo, mistura de substâncias oleosas altamente inflamáveis como matéria prima para produção energética. Nesse momento, a grande revolução energética torna-se a possibilidade de transporte e armazenamento da energia obtida (ZYLBERSZTAJN, 2020).

Na perspectiva mundial é possível observar que o desenvolvimento energético se deu através de um processo transitório cujo prelúdio foi o uso da biomassa de madeira e carvão mineral, para posteriormente ganhar escala com o uso do petróleo. Economicamente, o petróleo possibilitou o nascimento de diversas indústrias. Nos Estados Unidos, por exemplo, diversas indústrias se desenvolveram no século XX por conta do petróleo, como a automobilística.

Já no Brasil, as indústrias foram se desenvolvendo através do uso energético da biomassa de origem orgânica. Prova disso é que em 2009, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil produziu e consumiu cerca de 80 milhões de toneladas de lenha de madeira. Após este período a transição nacional se voltou ao uso do petróleo sem explorar tão fortemente o uso do carvão mineral, fato que corroborou com a modernização no país, mas também intensificou os impactos que esse tipo de energia não renovável causam ao meio ambiente e a todos os organismos (ZYLBERSZTAJN, 2020; ZYLBERSZTAJN, 2014; BRASIL, 2010).

À luz de estudos que evidenciam que o uso de fontes de energia não renováveis estão associados, dentre outros fatores, às mudanças climáticas e suas consequências, surgiu grande demanda nas últimas décadas por novos estudos e pela ampliação no uso de energias renováveis e sustentáveis. Além disso, tendo em vista o aumento populacional, os hábitos de consumo não sustentáveis e o esgotamento das fontes energéticas não renováveis, o aproveitamento de outras fontes energéticas torna-se uma necessidade (SILVA, 2016).

O uso de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) tornou-se uma realidade em muitos países como sendo uma classe de produtos oriundos do tratamento de resíduos sólidos de onde se extrai materiais com capacidade calorífica elevada para ser utilizada pela indústria ou para geração de energia elétrica. Esse material, por sua vez, pode ser introduzido em sistemas de geração elétrica em âmbito domiciliar ou em plantas industriais (BOSMANS; HELSEN, 2010; SANTOS; TAMBANI, 2019).

Três classes de biomassa residual são as mais utilizadas para produção do CDR em contexto nacional: a florestal, agrícola e a biomassa de resíduos urbanos. As propriedades de cada classe exercem influência tanto no método de processamento utilizado como no controle do sistema de combustão em processos termoquímicos, necessitando um entendimento aprimorado dos parâmetros que busquem otimizar os processos (GARCIA, 2010).

O uso de resíduos urbanos como CDR, chamada de valorização energética, pode ser considerada uma ferramenta para englobar diferentes oportunidades de agregar valor econômico aos resíduos, beneficiando não só o meio ambiente mas também contribuindo para a inovação tecnológica e mitigação dos efeitos nocivos causados pela problemática da geração exponencial, destinação inadequada e ineficiência de gestão (DE MIRANDA; MARTINS; LOPES, 2019).

Nestas rotas, o processo bioquímico é considerado o mais demorado e pouco controlável pois ocorre na presença de enzimas, bactérias e outros microorganismos por digestão anaeróbia, onde a biomassa de lignocelulose é convertida em biocombustíveis. Em processos termoquímicos, a biomassa formada é processada através do calor e do suprimento controlado de oxigênio, podendo ser por pirólise, gaseificação e combustão direta.

Em ambos os processos, os resíduos de podas e aparas podem ou não passar por um pré-processamento físico, seja ele trituração ou triagem, transformando-se em biomassa residual. Apesar dos benefícios, a comercialização dos CDR como fonte energética esbarra em uma série de dificuldades que envolvem coleta, logística de transporte, teores elevados de contaminantes, baixa densidade, dentre outros (USHIMA, 2019).

De acordo com dados da Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (ABREN), apesar do enorme potencial nacional, o Brasil não possui plantas de usinas *Waste-to-Energy* em operação como no restante do mundo, que chega a mais de 1300 unidades de processamento. A associação ainda ressalta que no Brasil existem muitos aterros sanitários em operação, cada vez mais distantes dos grandes centros metropolitanos, e que a implementação da geração *Waste-to-Energy* no Brasil possibilitaria gastos cada vez menores de transporte e fomentaria a geração limpa de eletricidade nos próprios centros geradores.

Um bom exemplo de investimento no setor são os países europeus, principais consumidores de CDR de biomassa para aquecimento comercial ou residencial de ambiente, além do alto potencial de utilização como combustível para geração de energia elétrica em plantas industriais, ou até mesmo em usinas termoeletricas, com destaque para a geração através de CDR (GARCIA, 2010; ZYLBERSZTAJN, 2014).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz energética mundial é composta principalmente por fontes não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural. De acordo com dados do International Energy Agency (IEA) de 2018, todas as energias renováveis, com exceção da hidráulica e da biomassa, representam apenas 1,6% da matriz energética mundial.

Ao considerar a participação da energia hidráulica e da biomassa, as energias renováveis passam a totalizar 14% da matriz mundial. Sozinha, a energia obtida através de biomassa representa 9,8% da energia primária mundial (IEA, 2018), sendo utilizada por quase 2,5 bilhões de pessoas em ambiente domiciliar (MOALLEMI et al, 2019; ONU, 2015).

O uso em larga escala de biomassa residual para geração energética nos países do hemisfério norte, por exemplo, começou no final da década de 70 em decorrência de uma das maiores crises do petróleo já vivenciadas, evento que aumentou significativamente o preço do barril e forçou a busca por combustíveis alternativos para uso principalmente nos setores industriais, comerciais e para fins de aquecimento (ZYLBERSZTAJN, 2020; ZYLBERSZTAJN, 2014).

A partir de 2000, o consumo energético através de biomassa residual aumentou consideravelmente, chegando a 594 industriais ao final de 2010 (ZYLBERSZTAJN, 2020). Neste aspecto, é importante ressaltar que a biomassa, do ponto de vista energético, é definida como toda matéria orgânica, vegetal ou animal que pode ser empregada na geração de energia proveniente indiretamente da energia solar (GARCIA, 2010).

Atualmente, de acordo com dados apresentados no BEN de 2020, houve uma variação de +0,5% na participação da biomassa na geração elétrica interna, chegando a 52.543 GWh em 2019, enquanto que a geração elétrica através de derivados de petróleo sofreu uma variação de -25,5% (BRASIL, 2010).

Os dados referem-se a biomassa de lenha, bagaço de cana e de lixo, não sendo apresentados os dados desagregados a respeito da geração elétrica a partir de biomassa de resíduos lignocelulósicos oriundos de podas. No entanto, sabe-se que quando essa biomassa residual de podas é destinada ao uso de tecnologias relacionadas a processos físico-mecânico,

como briquetagem e peletização, o potencial de poder calorífico pode chegar a números próximos de 20 MJ/Kg (CORTEZ, 2011; SILVA, 2016).

A biodisponibilidade de um número variado de biomassas encontradas no Brasil abre uma série de oportunidades no aspecto de potencial energético (Tabela 4). No entanto, existem variações nos valores de poder calorífico de cada uma delas devido às diferenças químicas e físico-químicas inerentes a cada tipo de biomassa e a cada componente dela, por exemplo a diferença entre caules e folhas, a biomassa peletizada ou não, o teor de cinzas, que representam a fração inorgânica da biomassa, que por sua vez não contribui no processo de combustão e o teor de umidade, que resulta em um consumo de energia para evaporação, fato que afeta negativamente o potencial energético (SANTOS; TAMBANI, 2019; ESCOBAR, 2016; SILVA, 2016).

Tabela 4 - Fontes de biomassa e seus respectivos valores de poder calorífico em processos termoquímicos.

Tipo de Biomassa	Poder calorífico (MJ/Kg)	Referência
Galhos de macieira	18,42	Sgorla et al, 2018
Folhas de macieira	19,90	Sgorla et al, 2018
Folha de bananeira	19,17	Sgorla et al, 2018
Poda de árvore <i>in natura</i>	10,41	Gonçalves et al, 2019
Poda de árvore briquetada	18,43	Gonçalves et al, 2019
Poda de árvore	20,70	Santos; Tambani, 2019
Poda de árvore sem folhas	18,76	Silva, 2016
Poda de árvore com folhas	17,53	Silva, 2016
Poda de macieira	20,25	Jacinto, 2017
Folha de poda	20,86	Silva; Cruz, 2019
Caule de poda	18,65	Silva; Cruz, 2019
Caule + folha de poda	19,69	Silva; Cruz, 2019
Pellets de madeira	18,00	Escobar, 2016

Fonte: autoria própria (2022).

Os processos de conversão termoquímica são possíveis devido à presença de energia química disponível que pode ser canalizada para diversas finalidades, como por exemplo cocção de alimentos, aquecimento de água e ambientes, bem como geração de

vapor d'água e energia elétrica. Para isso, a biomassa residual é processada a partir de calor e suprimento controlado de oxigênio, e a energia é liberada a partir de processos de combustão direta, pirólise e gaseificação (SILVA, 2016; CORTEZ, 2011; BRASIL, 2019a).

Considera-se o poder calorífico gerado, correspondendo à energia liberada na forma de calor pelo material durante a combustão, como a principal variável a ser considerada no planejamento operacional de valorização termoquímica a partir de resíduos, em pequena ou larga escala. Essa energia pode ser expressa de duas formas: Poder Calorífico Superior (PCS); Poder Calorífico Inferior (PCI).

O PCS consiste na quantidade de calor liberada na combustão quando os gases de descarga são arrefecidos de modo que a água resultante da combustão esteja na fase líquida, enquanto o PCI consiste na quantidade de calor liberada da combustão em que a água já se encontra na fase gasosa. No PCI é evidenciado o potencial energético real contido no produto da combustão, pois desconta a energia gasta para a evaporação da água formada na combustão (PRADHAN, MAHAJANI e ARORA, 2018). Logo, esse último parâmetro é mais apropriado para avaliar o potencial energético de determinada categoria de resíduos submetida a processos termoquímicos.

As variações no poder calorífico, resultantes de cada tipo de biomassa residual, ocorrem devido às diferenças químicas e físico-químicas de sua composição, devido ao teor de cinzas, que representa a fração inorgânica da biomassa e não contribui no processo de combustão, assim como ao teor de umidade, que aumenta o consumo de energia para evaporação, fato que afeta negativamente o potencial energético (SANTOS e TAMBANI, 2019).

No estado de São Paulo, a Resolução N° 47/2020 (SÃO PAULO, 2020) estabelece diretrizes e condições para o licenciamento e operação da atividade de recuperação de energia proveniente do uso de CDR em fornos industriais e incineradores, em cumprimento às diretrizes da Resolução Conama N° 316/2002, que, por sua vez, dispõe sobre procedimentos e critérios para esse tipo de valorização por tratamento térmico em âmbito nacional. Essa resolução estadual preconiza PCI mínimo de 2300 kcal/Kg ou 9,63 MJ/Kg para resíduos com potencial para serem utilizados como CDR (BRASIL, 2002).

SANTOS e TAMBANI (2019) indicam que a biomassa de podas e aparas de vegetação arbórea apresenta PCS de 20,7 MJ/Kg e PCI de 19,4 MJ/Kg, números bastante satisfatórios no âmbito de biomassa residual e com baixos teores de cinzas em comparação a outras fontes de biomassas, considerando em base seca. Corrigindo o PCI com umidade a 40%, por exemplo, este resultaria em torno de 10 MJ/Kg.

Combustão direta trata-se da tecnologia de conversão termoquímica mais antiga e mais difundida atualmente. Apresenta vantagem de ser tecnologia simples e de baixo custo operacional, podendo ser utilizada em fogões, fornos e caldeiras para geração de energia elétrica em usinas termoeletricas. No entanto, por não permitir o controle da umidade e dos gases residuais produzidos pela queima é muito ineficiente e produz poluentes, como o monóxido de carbono e fuligem (CORTEZ, 2008; GONÇALVES, 2019).

A conversão de calor em energia mecânica é, normalmente, realizada por ciclos termodinâmicos de vapor pelo uso de caldeiras, turbinas a vapor, condensador e bomba de alimentação da caldeira. Os gases da combustão estão submetidos à temperatura entre 800°C e 900°C e durante o processo trocam calor com as paredes do incinerador e trocadores de calor, gerando vapor que será utilizado para geração energética ou para aquecimento (SANTOS e TAMBANI, 2019).

A pirólise lenta de biomassa sólida de podas e aparas ocorre a partir da decomposição térmica da biomassa residual na ausência parcial ou total de oxigênio e temperatura controlada entre 300°C e 500°C. Essa técnica possibilita a conversão da matéria orgânica em subprodutos de maior qualidade e maior densidade energética, como, por exemplo, o carvão vegetal, a partir da perda de compostos voláteis de oxigênio e hidrogênio e concentração de carbono, bem como pela perda de volume e densidade (CORTEZ, 2008).

Além do combustível gasoso, a pirólise também produz ácido pirolenhoso e resíduo sólido de alcatrão (BRITO, 1990; PEDROZA et al., 2017). O carvão vegetal pode ser usado como meio de multiplicar populações diversificadas de microorganismos para posterior uso como fertilizante e condicionador de solo como bio-carvão ou biochar (CARDOSO JÚNIOR, PIMENTA, DE SOUZA, PEREIRA e DIAS JUNIOR, 2022).

Há outros métodos de pirólise de biomassa residual, considerados mais avançados quando comparados ao processo de produção de carvão vegetal, cujo produto final é bio-óleo com maior valor agregado. Tais métodos, chamados de pirólise rápida, necessitam de intervalos maiores de temperatura, entre 600°C e 1200°C, assim como de um pré-processo mais controlado que transforma os resíduos em partículas inferiores a 2 mm com umidade em torno de 10%. Sendo assim, apesar do potencial de valorização energética de resíduos de podas e aparas por meio da pirólise rápida há ainda grandes gargalos na implementação desse método devido a incertezas, especialmente em relação ao mercado do bio-óleo (PEDROZA et al., 2017; GÓMEZ, 2022).

O processo de valorização térmica a partir de gaseificação envolve a conversão de

qualquer espécie de hidrocarboneto sólido em um produto gasoso, considerado gás de síntese, com um poder calorífico na ordem de 5 MJ/Kg por meio da oxidação parcial do O_2 , gerando H_2 e CO. O processo pode ocorrer em condições de leito fixo ou leito fluidizado em fluxo contínuo ou em batelada. Além da valorização energética dos resíduos em processo de gaseificação, o método produz também combustíveis líquidos com potencial de introdução na cadeia energética renovável por meio de processos de síntese química catalítica, como o diesel, gasolina, metanol, dentre outros, e etanol a partir da fermentação do gás de síntese (SILVA, 2016; SANTOS e TAMBANI, 2019).

Apesar do processo de gaseificação apresentar diversas vantagens no aspecto produtivo em relação à queima direta da biomassa, em relação ao manuseio e custo de instalação e manutenção é um processo tecnicamente mais complicado de se realizar. A manutenção é estritamente necessária para que haja regularidade na limpeza dos gases para evitar a emissão atmosférica de material particulado e alcatrão (ARDILA, 2015).

Para diminuição dos impactos negativos ao ambiente, tanto para os processos de gaseificação quanto aos demais processos termoquímicos, é necessário que haja algum pré-tratamento para retirada da umidade, pela secagem em estufa, e para diminuição de tamanho, ou mesmo adensamento da biomassa residual antes da gaseificação. Esses métodos de pré-tratamento, ou pré-processamento, apesar de apresentarem maior consumo energético durante o processo geral, aumentam significativamente sua eficiência (ARDILA, 2015; CORTEZ, 2011).

4. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta estudo exploratório a respeito dos resíduos de podas e aparas de vegetação arbórea urbana, proporcionando uma visão geral do tema a partir da revisão da literatura e levantando aspectos qualitativos relevantes ao estudo desta tipologia, ainda pouco explorada, na perspectiva dos instrumentos de gestão e práticas de manejo do município de São Paulo, bem como as possíveis rotas de reaproveitamento cabíveis.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de endereços eletrônicos institucionais vinculados à gestão municipal de São Paulo referentes aos resíduos sólidos urbanos, bem como de diagnósticos referentes à temática ambiental e aos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas emitidos pela prefeitura. A partir das informações coletadas, foi realizada uma análise exploratória com o objetivo de identificar as formas de gestão e manejo dos resíduos de podas e aparas arbóreas pela prefeitura, observando sobretudo seus pontos de convergência com as metas e objetivos normativos dos instrumentos de gestão municipal.

Uma vez organizadas as informações, foram elaboradas tabelas para representação e análise do exposto, no intuito de auxiliar na construção reflexiva do tema e possibilitar a visão integrada de novas ações de gestão para esse tipo de resíduo nos grandes centros urbanos.

A partir das características mencionadas, este trabalho seguiu com o estudo exploratório sobre a temática dos resíduos de podas e aparas arbóreas gerados no município de São Paulo, de acordo com as seguintes etapas metodológicas:

1. Revisão da literatura sobre os resíduos
2. Revisão da literatura sobre métodos de aproveitamento dos resíduos
3. Identificação dos instrumentos de gestão municipal
4. Identificação das práticas e ações municipais
5. Análise comparativa entre aspectos normativos e manejo e gestão municipal
6. Avaliação dos resultados

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 IDENTIFICAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO MUNICIPAL

Como mencionado, a apresentação da legislação vigente em relação aos resíduos de podas e aparas arbóreas teve como recorte principal o município de São Paulo. Neste ponto, vale destacar a dificuldade no processo de levantamento de dados e informações inerentes a estes resíduos devido, sobretudo, ao processo de descentralização da gestão ambiental ocorrida no país na última década do século XX. Em âmbito estadual, por exemplo, os resíduos de podas e aparas arbóreas sequer fazem parte das estimativas de geração como parte do Plano Estadual de Resíduos Sólidos e seus dados de geração estão sempre agregados às demais tipologias de resíduos urbanos.

No município de São Paulo, as práticas e ações de gestão estão espalhadas em diversos órgãos e secretarias que administram diferentes contratos de serviços relacionadas aos resíduos de podas e aparas arbóreas, sem que existam muitos instrumentos de articulação e coordenação entre eles, dificultando o levantamento de informações e dados inerentes ao tema. Essa escassez de informações e dados se agravou nos últimos quatro anos devido ao cenário de desmonte da gestão participativa ambiental nacional e também ao fortalecimento da cultura negacionista em relação, não só à temática ambiental, como também à temática científica como um todo.

5.1.1 Estrutura Organizacional da Gestão Municipal

A responsabilidade pela gestão dos resíduos de podas e aparas no município de São Paulo está dividida por diferentes órgãos e secretarias, o que configura uma estrutura organizacional complexa e não contribui para prover ações integradas. Até 2021 a Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB) geria tanto os contratos de Concessão de Limpeza Pública (resíduos domésticos, chamados “divisíveis”) como os contratos de varrição (resíduos públicos, chamados “indivisíveis”).

A SPRegula é uma agência reguladora que, em 2021, sucedeu a AMLURB como órgão regulamentador responsável pela gestão dos resíduos sólidos e pela limpeza urbana da cidade de São Paulo. O órgão garante a gestão dos resíduos sólidos urbanos por meio da coleta regular municipal, na qual são recolhidos resíduos domiciliares, comuns e recicláveis, assim como de pequenos geradores comerciais. Apesar de suceder a AMLURB, a SPRegula gere apenas os contratos de Concessão. Nos contratos de Concessão estão previstos a

implantação de Usinas de Compostagem de grande porte (300 t/dia de capacidade) para Resíduos Sólidos Orgânicos Domésticos (ROD) (incluindo podas e aparas de pequenos geradores), os quais deverão ser coletados seletivamente com segregação desde a origem. A compostagem dos ROD úmidos putrescíveis necessitará de grandes volumes de resíduos estruturantes ricos em carbono, tais como, os resíduos de podas e aparas.

Com a extinção da AMLURB em 2021, a Secretaria Municipal de Subprefeituras (SMS) passou a ser a gestora dos resíduos públicos da limpeza urbana (contratos de Varrição) por meio da Secretaria Executiva de Limpeza Urbana (SELIMP), responsável pela limpeza de vias e logradouros públicos que contempla os serviços de varrição, coleta, lavagem e retirada de entulhos e objetos volumosos abandonados, assim como os programas de ecopontos e de pátios de compostagem.

Na mesma SMS, mas por meio de outro departamento, a Assessoria Técnica de Obras e Serviços (ATOS), são geridos os contratos de serviços de poda e jardinagem de resíduos públicos. Dessa forma, é a primeira vez (a partir de 2021) que os contratos de serviços de podas e jardinagem e os de resíduos de feiras-livres (incluídos como de Varrição) são geridos pela mesma secretaria, apesar de serem departamentos diferentes.

Por outro lado, cabe à Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA), por meio do Departamento de Parques e Áreas Verdes (DEPAVE), a administração dos contratos de plantio de mudas de árvores e serviços de poda e jardinagem em Parques, Áreas Verdes e Unidades de Conservação no município (SÃO PAULO, 2021a).

Enquanto instrumentos de gestão, uma série de planos setoriais, tais como, o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica, o Plano Municipal de Arborização Urbana e o Plano de Ação Climática foram congregados pelo Plano Diretor Estratégico do município de São Paulo, aprovado em 2014, que também incorporou outros planos setoriais já existentes. Nos planos e programas apresentados a seguir estão previstas diretrizes e/ou metas relacionadas à gestão dos resíduos de podas e aparas.

5.1.2 Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS-2014)

O Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) é o principal instrumento de planejamento e gestão, no âmbito municipal, da aplicação das prerrogativas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cujas diretrizes estão fundamentadas na hierarquia de resíduos, a qual envolve a seguinte ordem de prioridade de ações: i) não

geração; ii) redução; iii) reutilização; iv) reciclagem; v) tratamento dos resíduos sólidos; e vi) disposição em aterros sanitários apenas dos rejeitos (BRASIL, 2010). O plano de cada município visa atender também ao Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, à Política Nacional sobre Mudanças Climáticas e à Política Nacional de Educação Ambiental, no que couber.

O Plano do município de São Paulo de 2014 previa que a organização da gestão integrada dos resíduos sólidos, no âmbito do município, estivesse sob a responsabilidade da Autoridade Municipal de Limpeza Urbana (AMLURB) que, no entanto, foi extinta em 2021 e sucedida pela SPRegula. Essa organização é estabelecida por meio de uma pluralidade de novas rotas tecnológicas de manejo, novas instalações de destinação e fomentos a iniciativas privadas para empreendimentos alinhados às diretrizes e metas estabelecidas no PGIRS (SÃO PAULO, 2014).

Como parte das novas rotas estudadas, a segregação dos resíduos de podas e aparas nas fontes geradoras e o incentivo ao aproveitamento por meio de processos biológicos, prioritariamente descentralizados e aeróbios (como a compostagem *in situ*), podem servir de métodos de retenção do resíduo no local de origem e a consequente minimização dos impactos do transporte.

Essas soluções serão complementadas por Centrais de Processamento Aeróbio, Centrais de Biodigestão (anaeróbia) e Ecoparques de Tratamento Mecânico-biológico para a parte recalcitrante da coleta indiferenciada. Além disso, o estabelecimento de revisões do plano, de forma participativa e a cada 5 anos, e de indicadores de desempenho para estes serviços públicos, permitem o conhecimento e o acompanhamento das características de geração e de manejo desses resíduos (SÃO PAULO, 2014).

5.1.3 Programa de Aproveitamento de Madeira de Poda de Árvores (PAMPA-2008)

Instituído pela Lei Municipal Nº 14.723 de maio de 2008, o Programa de Aproveitamento de Madeira de Poda de Árvores (PAMPA) tem por objetivo gerar benefícios econômicos e ambientais e contribuir para o aumento da vida útil dos aterros sanitários, ou seja, desviar resíduos da disposição no solo e inseri-los na Economia Circular. Logo, essa lei proíbe a destinação de resíduos de podas e aparas para aterros sanitários e prevê a implementação de condutas de aproveitamento e valorização por meio de: i) utilização da madeira como combustível em fornos de olarias; ii) recuperação como matéria prima para a confecção de utensílios em geral; e iii) utilização de folhas e galhos

na produção de composto orgânico, em processos de compostagem (SÃO PAULO, 2008a).

5.1.4 Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos (2008)

Instituído pela Lei Municipal Nº 14.803 de junho de 2008, o Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos tem por objetivo assegurar que a gestão desses resíduos atenda às diretrizes da Resolução CONAMA nº 307 de julho de 2002 (SÃO PAULO, 2008b), que disciplina práticas e ações dos geradores e transportadores e o fluxo dos agentes envolvidos na gestão destes resíduos, no âmbito do Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo (Lei Municipal Nº 13.478 de dezembro de 2002).

5.1.5 Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA-2017)

O Plano Municipal da Mata Atlântica (PMMA) do Município de São Paulo, instituído pelo artigo 38 da Lei da Mata Atlântica (Lei Federal 11.428/2006) e incorporado ao novo Plano Diretor Estratégico (PDE) do Município de São Paulo, Lei 16.050, de 31 de julho de 2014, em seu Art. 287, visa à recuperação da vegetação nativa e da biodiversidade da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017).

5.1.6 Plano Municipal de Arborização Urbana (PMAU-2020)

O Plano Municipal de Arborização Urbana (PMAU-2020) é um instrumento para definir o planejamento, a implantação e o manejo da arborização urbana no Município e propõe a universalização, amparada por critérios técnicos da arborização para todas as áreas e pessoas do município (SÃO PAULO, 2020). O PMAU-2020 também atualizou o Manual de Arborização Urbana e o Manual Técnico de Poda de Árvores do município de São Paulo.

5.1.7 Lei da Poda

A Lei Municipal 17.267/2020, denominada de *Lei da Poda*, resultante de propostas surgidas durante a elaboração do PMAU-2020, veio permitir que os cidadãos contratassem empresas para realização de podas ou remoção de árvores que estão em suas residências. Antes, somente técnicos da Prefeitura podiam realizar esse serviço, mediante solicitação prévia do interessado, com prazos longos desde o pedido até a efetivação do serviço. A

partir dessa flexibilização, mediante apresentação de Laudo Agrônômico e Autorização da Subprefeitura, a operação pode ser realizada por empresas contratadas que assumem a responsabilidade pela destinação adequada dos resíduos gerados, retirando da municipalidade esse encargo.

5.1.8 Programa de Metas da Gestão Municipal - 2021-2024 (2021)

No Programa de Metas da Gestão Municipal para o período vigente, de 2021 a 2024, a *Meta 69* prevê reduzir em 600 mil toneladas a quantidade de resíduos sólidos enviados aos aterros no mesmo período, prevendo ações que venham a contribuir com essa meta, como: implantar 40 novos Ecopontos e 3.000 novos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs); implantar 3 novos pátios de compostagem para atingir 600 feiras-livres; ampliar os projetos de compostagem domiciliar e buscar novas tecnologias para destinação adequada dos resíduos sólidos urbanos (SÃO PAULO, 2021b).

5.1.9 PlanClimaSP 2020-2050 (2021)

O Plano de Ação Climática do Município de São Paulo para o período de 2020-2050 traz metas direcionadas aos resíduos, para serem alcançadas até 2030, como: diminuir em 50% a destinação de resíduos sólidos recicláveis aos aterros sanitários; universalizar os processos de compostagem de resíduos orgânicos de feiras e poda municipal no Município de São Paulo; e aumentar a capacidade total do conjunto dos pátios de compostagem para 100 mil toneladas por ano.

5.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PRÁTICAS E AÇÕES MUNICIPAIS

Apesar do envio dos resíduos de podas e aparas a aterros estar proibido desde 2008 pela Lei Municipal do PAMPA e, desde 2010, pela Lei Federal da PNRS, diante dos enormes volumes gerados no município de São Paulo, as práticas e ações de desvio desses resíduos e de encaminhamento dos mesmos para algum processo de valorização tem avançado lentamente.

O município de São Paulo conta com 32 Subprefeituras que administram os 96 distritos municipais. Há grande disparidade na geração de resíduos de podas e aparas entre as subprefeituras, como reflexo das condições de urbanização, tipologia de construções e arborização urbana, assim como da idade e condições sanitárias dos indivíduos arbóreos ou

da existência de elementos verdes no paisagismo.

Os dados do Sistema de Controle de Resíduos Sólidos Urbanos (SISCOR), apurados pela AMLURB, registram pesagens de caminhões identificados como serviços de poda e jardinagem contratados pela municipalidade e enviados para o aterro de inertes CDR-Pedreira. Esses dados, como mencionado na revisão da literatura, excluem outras fontes de geração desse tipo dessa tipologia de resíduo, como pequenos geradores, que por sua vez são encaminhados para a coleta regular e têm como destinação principal os aterros sanitários.

Quando a geração ultrapassa 200 L/dia ou até 1m³, essa geração, mesmo que ainda considerada pequena, deve ser encaminhada aos Ecopontos, cujo destino são os aterros de inertes. Considerando-se que *Ecopontos* são locais específicos de descarte gratuito de resíduos sólidos, implantados pelo município, com a finalidade de fornecer um local para ampliar o alcance da segregação na fonte e coleta seletiva, assim como para evitar o descarte inadequado de resíduos no território municipal, esses estão adaptados para receber os resíduos de podas e aparas, assim como da construção civil e outros resíduos volumosos e recicláveis.

Os Ecopontos municipais dispõem de caçambas específicas para receber resíduos de podas e aparas de grama de munícipes com um volume de até 1m³/dia, sem custo algum ao usuário. Em 2013, existiam apenas 51 Ecopontos, em 2016, já eram 109. Em 2019 os 121 Ecopontos existentes receberam 447.700 toneladas de resíduos sólidos. Os Ecopontos são serviços incluídos nos contratos de varrição.

Em 2014, visando estimular a prática da segregação de resíduos orgânicos no domicílio e a compostagem caseira, foi implementado o Projeto Composta São Paulo, com distribuição gratuita de 2.006 vermicomposteiras, com uma média de fornecimento de uma vermicomposteira para cada 2 mil domicílios. A distribuição teve por base um extenso questionário com os participantes que constituíram amostra significativa das diversas regiões e estratos sociais da população do município.

O projeto, além de incentivar essa prática e dar uma alternativa factível para o próprio gerador, fortaleceu o engajamento autônomo do cidadão com relação à compostagem domiciliar e condominial. Como exemplo, nota-se que a comunidade do Composta São Paulo no facebook tem 14.000 membros.

Explorando a complementaridade técnica para a compostagem entre os resíduos de podas e aparas (ricos em carbono) e os resíduos orgânicos originários de feiras livres municipais (ricos em nitrogênio), o Projeto Feiras & Jardins Sustentáveis implantou cinco

pátios de compostagem distribuídos pela cidade. Ao todo, esses pátios têm capacidade de recebimento de até 15,6 mil t/ano, com processamento de até 4.700 t/ano de resíduos de podas e aparas.

O composto produzido ao final do processo, em torno de 15 t/dia, é utilizado como adubo orgânico em jardins e praças públicas e doado a agricultores cadastrados, como também à população (SÃO PAULO, 2021b). Entre junho de 2015 e junho de 2018, por exemplo, estima-se que o Pátio de Compostagem da Subprefeitura da Lapa processou 2.642 t de resíduos orgânicos de feiras-livres e de podas e aparas e que tenha desviado 660,5 t de podas e aparas para a compostagem (GALVÃO, 2019).

Os resíduos de podas e aparas em parques e áreas verdes geridos pela SVMA-DEPAVE são encaminhados quase na totalidade aos aterros de resíduos. Os novos contratos de manejo de árvores adotados em 2018 excluíram a obrigatoriedade do triturador pelas empresas contratadas, estimulando que encaminhem o material diretamente aos aterros sanitários. Em 34 dos 108 parques existentes há alguma forma de compostagem, mas apenas em caráter educativo, sem impacto efetivo no desvio de resíduos dos aterros.

Por outro lado, a geração de informações sobre os resíduos de podas e aparas ainda é precária. Algumas bases de dados poderiam ser criadas e integradas às já existentes, no sentido de suprir esta lacuna. Por exemplo, apenas 16% dos indivíduos arbóreos identificados em mapeamento, presentes no viário urbano (sem contar indivíduos internos a parques e áreas verdes), foram cadastrados no Sistema de Gestão da Arborização Urbana (SISGAU) e, por problemas técnicos entre plataformas, apenas 4% desses dados foram inseridos na plataforma aberta Geosampa.

Em abril de 2019, a Prefeitura criou o sistema informatizado de cadastro eletrônico de coleta e transporte para destinação final de resíduos de grandes geradores (CRT-E RGG) do município, com três categorias: i) Grandes geradores de RGG; ii) Transportadoras de RGG; e iii) Destino final e ATT (Área de Transbordo e Triagem) de RGG. Essas ações, quando completadas, permitirão maior controle da informação de destinação de resíduos de grandes geradores, mas ainda não há registro dos resíduos de podas e aparas encaminhados diretamente aos aterros por grandes geradores, o que dificulta o diagnóstico, a avaliação da situação e o planejamento de ações futuras.

Nota-se, portanto, que no município de São Paulo, os instrumentos de gestão direcionados aos resíduos de podas e aparas têm buscado se enquadrar ao conceito de hierarquia de ações estabelecido pela PNRS, porém a grande maioria desses resíduos ainda é direcionada para disposição no solo com os impactos inerentes. As metas de desvio de resíduos sólidos, já compromissadas pelo poder público (universalizar os processos de compostagem de resíduos orgânicos de feiras e podas, e aumentar a capacidade total do conjunto dos pátios de compostagem para 100 mil toneladas por ano até 2030), apontam para a necessidade de ampliar rapidamente o volume de biomassa encaminhado a diferentes rotas de valorização de resíduos de podas e aparas, desviando-os dos aterros de resíduos, cuja disposição já está proibida no município pela legislação desde 2008 (Lei Municipal do PAMPA), proibição reforçada na Lei Federal da PNRS em 2010.

Apesar do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS-2014) não mencionar em suas metas alguns processos tecnológicos disponíveis, tais como os processos termoquímicos para recuperação energética, é importante considerar a pluralidade de soluções e a busca de sua complementaridade, priorizando aquelas que exigem menos recursos e apresentam menores riscos de implantação. Após esgotar essas possibilidades, é importante avançar para processos de maior risco e complexidade, no mesmo espírito da hierarquia de ações de gestão de resíduos da PNRS.

O Plano Municipal de Arborização Urbana prevê a universalização dos serviços ecossistêmicos das árvores da floresta urbana para todas as pessoas e regiões do município, o que resultará, além da melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida da população, no aumento da geração de resíduos de podas e aparas. Tal acréscimo ao longo do tempo tem que ser considerado e incorporado nas políticas públicas do setor.

A necessidade de enfrentamento dos efeitos da mudança global do clima pode vir a gerar maior volume de quedas de árvores e elementos verdes da paisagem, em decorrência de eventos extremos mais frequentes. Por outro lado, pode ainda demandar soluções com base em processos bioquímicos, como forma de levar nutrientes e matéria orgânica para os solos do entorno da cidade, garantindo estrategicamente a retenção hídrica da água no solo por mais tempo para o enfrentamento das secas mais severas e para o sequestro de carbono.

Essa demanda torna-se mais factível a partir de janeiro de 2022 com a regulamentação da PNRS, 12 anos após a lei ser sancionada. O artigo 8º dessa regulamentação estabelece que a coleta seletiva será realizada com separação na origem no mínimo dos recicláveis e dos orgânicos, com a separação dos rejeitos, denominada separação em 3 frações. Esse cenário pode vir a valorizar economicamente o composto produzido a partir da compostagem de resíduos orgânicos urbanos, incluindo aqui os

resíduos de podas e aparas, e criar um circuito econômico circular virtuoso.

Ao mesmo tempo, a emergência climática também pode tornar viável economicamente os métodos de recuperação energética por meio de processos tecnológicos termoquímicos, capazes de substituir com vantagens fontes não renováveis e altamente emissoras de Gases de Efeito Estufa.

No Estado de São Paulo, a maior parte dos municípios não possui políticas específicas que contemplem os resíduos de podas e aparas ou planos e ações de destinação adequada e reaproveitamento desses resíduos. A falta de dados concisos, individualizados e atualizados a respeito da geração e gestão desses resíduos é também condição que dificulta a aplicação de recursos públicos a planos e ações e desestimula investimentos privados de valorização das podas e aparas (MEIRA, 2010; CORTEZ, 2011).

Nesse sentido, é importante a geração e o registro de dados sobre essa categoria de resíduos sólidos, tanto os advindos da manutenção e limpeza urbana, como dos condomínios e domicílios, empresas e instituições, que possam embasar futuros planos, programas e projetos. Outro ponto de destaque pertinente aos dados obtidos nesse estudo exploratório diz respeito à natureza dos oito instrumentos de gestão relacionados aos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas vigentes: cinco planos; dois programas; uma lei.

Entende-se por lei a prescrição escrita emanada pelo poder competente como instrumento soberano que impõe obrigações a todos os indivíduos da sociedade sob pena de sanções. Por outro lado, planos e programas são conceitos que, apesar de fazerem parte da mesma estrutura de implementação de políticas públicas, possuem conceitos distintos, mas que se interdependem. Política pública é um conjunto de diretrizes estabelecidas pela sociedade, por meio de sua representação política, em forma de lei, visando a melhoria das condições de vida da população. Uma determinada política pública é implementada por meio de políticas de governo, que por sua vez é um conjunto de diretrizes estabelecidas pelo poder executivo visando a melhoria das condições de vida da população. Essas diretrizes da política de governo são implementadas por meio de: i) planos, que definem o objeto da ação; ii) programas, que definem os objetivos da ação; iii) projetos, que definem as metas qualitativas e quantitativas da ação.

Diante do exposto e do escopo definido para este trabalho, a Tabela 5 apresenta uma análise comparativa entre os planos e programas vigentes, bem como seus objetos e objetivos, em relação às práticas e ações municipais identificadas pela metodologia proposta.

Tabela 5 - Análise comparativa entre aspectos normativos vigentes e práticas e ações desempenhadas pelo município de São Paulo em relação aos resíduos de podas e aparas arbóreas urbanas, bem como análise dos métodos cabíveis a cada instrumento.

	Instrumento de Gestão	Objeto / Objetivos	Práticas e Ações Previstas e Implementadas
Planos	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Objeto: planejamento da gestão de resíduos sólidos	Previstas: i) gestão integrada dos resíduos sólidos por meio de novas rotas tecnológicas de manejo, novas instalações de destinação e fomento a iniciativas privadas; ii) segregação das podas e aparas nas fontes geradoras; iii) incentivo ao aproveitamento por meio de processos biológicos aeróbios e descentralizados.
			Implementadas: i) registro de pesagens de caminhões de serviço de poda e jardinagem com destino ao aterro de inertes; ii) cerca de 121 ecopontos municipais dispostos de caçambas específicas para receber podas e aparas; iii) sistema informatizado de cadastro eletrônico de coleta e transporte para destinação final de grandes geradores, porém ainda sem registros.
			Métodos cabíveis: i) métodos físicos de triagem e manejo sob as classificações morfológicas desta tipologia; ii) registros desvinculados aos orgânicos totais no momento da coleta e triagem; iii) incentivo financeiro ao aproveitamento por método bioquímico de compostagem <i>in loco</i> , principalmente para pequenos geradores.
	Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos	Objeto: gestão em atendimento às diretrizes da Resolução CONAMA n° 307 de 2002	Previstas: i) disciplinar práticas e ações dos geradores e transportadores; ii) disciplinar o fluxo dos agentes envolvidos na gestão dos resíduos.
			Implementadas: não foram identificadas ações e práticas diretamente vinculadas ao instrumento.
			Métodos cabíveis: i) programas de treinamento e capacitação a profissionais de triagem e manejo por caracterização e classificação dos resíduos de podas e aparas; ii) implementar práticas e ações em locais de recebimento e transbordo; iii) aumentar a fiscalização da coleta, transporte e destinação de resíduos volumosos, principalmente de empresas contratadas sob os respaldos tanto da Lei da Poda, como de suas flexibilizações.

Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica	Objeto: planejamento junto ao Plano Diretor Estratégico	Previstas: i) recuperação da vegetação nativa e da biodiversidade da Mata Atlântica.
		Implementadas: i) uso de adubo orgânico originário do projeto Feiras e Jardins Sustentáveis em jardins e praças públicas.
		Métodos cabíveis: i) fomento aos métodos de aproveitamento bioquímico em maiores escalas, para enriquecimento do solo e produção de compostos orgânicos; ii) exploração de métodos de aproveitamento em rotas energéticas de resíduos de podas e aparas em uso complementar ao aproveitamento energético da madeira.
Plano Municipal de Arborização Urbana	Objeto: planejamento, implantação e manejo da arborização urbana	Previstas: i) universalização da implantação e manejo da arborização urbana.
		Implementadas: i) oficinas e manuais oferecidos pela prefeitura de manejo adequado de podas e aparas arbóreas; ii) flexibilização para que empresas contratadas atendam a demanda de serviços de podas, no entanto, sem a devida responsabilização da destinação adequada.
		Métodos cabíveis: i) canal de cadastramento de empresas que oferecem o serviço de poda e empresas que oferecem serviços de aproveitamento desse insumo como forma de fomentar tanto produção de dados a respeito desta tipologia como assegurar seu aproveitamento.
PlanClimaSP	Objeto: gestão de resíduos sólidos	Previstas: i) diminuir em 50% a disposição das podas e aparas em aterros sanitários; ii) universalizar processos de compostagem; iii) aumentar a capacidade total dos pátios de compostagem.
		Implementadas: i) projeto Composta São Paulo; ii) projeto Feiras e Jardins Sustentáveis.
		Métodos cabíveis: i) fomento aos métodos físicos de coleta e triagem, principalmente no sentido de aumentar sua segregação com os demais resíduos de natureza orgânica; ii) fomento aos métodos de aproveitamento bioquímico em ação conjunta aos demais instrumentos de gestão que também atuam com compostagem tanto <i>in loco</i> como em pátios da prefeitura.

Programas	Programa de Aproveitamento de Madeira de Poda de Árvores	Objetivos: gerar benefício econômico e ambiental; contribuir para o aumento da vida útil dos aterros sanitários	<p>Previstas: i) utilizar resíduos de madeira como combustível em fornos de olarias; ii) aproveitamento para confecção de utensílios em geral; iii) utilização de folhas e galhos na compostagem.</p> <p>Implementados: i) uso de adubo orgânico originário do projeto Feiras e Jardins Sustentáveis em jardins e praças públicas; ii) doação de adubo orgânico a agricultores cadastrados e à população; iii) flexibilização para contratação de empresas contratadas para realização de podas e aparas de manutenção.</p> <p>Métodos cabíveis: i) fomento ao processo de aproveitamento físico de adensamento (peletização) para uso como CDR em práticas urbanas; ii) aumento da comunicação da geração desse resíduo em seus diferentes aspectos morfológicos para projetos que utilizam restos de madeira; iii) fomento aos métodos físicos de triagem e identificação das características e classificações das podas e aparas para destinação direcionada à projetos de aproveitamento cadastrados; iv) cadastramento de projetos que fazem uso desse resíduo como matéria-prima junto aos meios de comunicação da prefeitura.</p>
	Programa de Metas da Gestão Municipal	Objetivos: reduzir a quantidade de resíduos sólidos enviados aos aterros sanitários	<p>Previstas: i) implantar 40 novos Ecopontos e 3 mil novos PEVs; ii) implantar 3 novos pátios de compostagem; iii) ampliar projetos de compostagem domiciliar; iv) buscar novas tecnologias para destinação adequada.</p> <p>Implementadas: i) sistema informatizado de cadastro eletrônico de coleta e transporte para destinação final de grandes geradores, porém ainda sem registros.</p> <p>Métodos cabíveis: i) melhorar a operação dos pátios de compostagem já existentes e aumentar sua visibilidade nos meios de comunicação digitais da prefeitura; ii) incentivar estudos institucionais de novas rotas de aproveitamento destes resíduos; iii) iniciar os registros de coleta e transporte de grandes geradores a partir do sistema informativo de cadastro previsto; iii) fomentar métodos de aproveitamento em rotas energéticas, visando explorar seu potencial em demandas energéticas internas.</p>

Fonte: autoria própria (2023).

6. CONCLUSÕES

O enorme volume de resíduos de podas e aparas gerado no município de São Paulo, em torno de 50.000 t/ano, ainda é continuamente encaminhado aos aterros de resíduos, mesmo com diversos instrumentos de gestão vigentes no município de São Paulo e proibição por Lei Federal e Lei Municipal para tal destinação. Por este fato, conclui-se que há espaços para a experimentação, em escalas operacionais, e para o desenvolvimento de um mosaico de soluções tecnológicas que precisam de priorização, tanto do poder público, das universidades e institutos de pesquisa, como também da iniciativa privada para o encaminhamento da solução a esta questão.

Desde as alternativas mais viáveis até aquelas mais complexas devem ser consideradas, estudadas e aplicadas, para que cada método e processo tecnológico encontre nichos de aplicação e valorização cujo resultado considere o desempenho econômico, sanitário e ambiental, exigido pelas condições e requisitos da vida urbana em uma cidade com a complexidade de São Paulo.

Portanto, para cumprir a legislação e as metas já compromissadas pelo poder público, a partir dos planos e programas existentes, frente às demandas ampliadas e aceleradas pela gestão eficientes de resíduos sólidos urbanos e mudanças climáticas, será necessária a priorização dos diversos métodos de aproveitamento dos resíduos de podas e aparas arbóreas, explorando o leque de alternativas dos métodos físicos, bioquímicos e também no aproveitamento em rotas tecnológicas.

REFERÊNCIAS

ABPL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA. Aprender com os erros. ABPL: **Revista Limpeza Pública**, n.101, pp. 4-19, 2019.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022. 2022.

AL-ALAWI, M.; SZEGI, Tamas; EL FELS, Loubna; HAFDI, Mohamed; SIMON, Barbara; GULYA, Miklos. Green waste composting under GORE(R) cover membrane at industrial scale: physico-chemical properties and spectroscopic assessment. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture** (2019) 8 (Suppl 1):S385–S397.

ARDILA, Yurany Camacho. **Gaseificação da biomassa para produção de gás de síntese e posterior fermentação para bioetanol**: modelagem e simulação do processo. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

ARAÚJO, Y.R.V., de GÓIS, M.L., JUNIOR, L.M.C. *et al.* **Carbon footprint associated with four disposal scenarios for urban pruning waste.** *Environ Sci Pollut Res* 25, 1863–1868 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0613-y>

BOSMANS, Anouk; HELSEN, Lieve. Energy from waste: review of thermochemical technologies for refuse derived fuel (RDF) treatment. In: **International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Date: 2010/11/08-2010/11/11, Location: Venice, Italy.** 2010.

BOULDING, Kenneth. E., 1966, the economics of the coming spaceship earth. **New York**, 1966.

BRITO, José Otávio. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. **Documentos Florestais**: n.9; 1-19, maio de 1990. Piracicaba:USP/ESALQ. Departamento de Ciências Florestais.

BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009. **Brasília: EPE**, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 17º Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos: 2018. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 316**, de 29 de Outubro de 2002. Publicação no DOU n° 224, de 20 de Novembro de 2002, seção 1. Pág. 92/95.

_____, Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n°12.305 de 2 de agosto de 2010**.

_____, Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **17° Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p. : il.

_____, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos**. Caderno Temático N° 3 do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. 2019a. 51p.
https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/3-CadernotematicoRecuperacaoEnergeticadeRSU.pdf

_____, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Valorização de Resíduos Orgânicos**. Caderno Temático N° 4 do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. 2019b. 43p.
https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab/4-CadernotematicoValorizacaodeResiduosOrganicos.pdf. Acessado em: 02/04/2022.

BRASIL, PNMA. Política Nacional do Meio Ambiente. 1981.

BRASIL, PNRS. Política nacional de resíduos sólidos. 2010.

BRASIL, PNSB. Política Nacional do Saneamento Básico. 2007.

CARDOSO JÚNIOR, C. D.; PIMENTA, A. S.; DE SOUZA, E. C.; PEREIRA, A. K. S.; DIAS JÚNIOR, A. F. Uso agrícola e florestal do biochar: estado da arte e futuras pesquisas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, e55711225999, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25999>. Acessado em: 25/03/2022.

CCAC-ISWA. **Evaluation and Recommendation Report of the Pilot Composting Plant in the Lapa District of the City of São Paulo**. Climate and Clean Air Coalition (CCAC), International Solid Waste Association (ISWA) , Report. 28p. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/Antonio/Documents/Doutorado/Cap%C3%ADtulo%20de%20Livro%20Talita/assessment_lapa_composting_plant-_sao_paulo.pdf. Acessado em: 02/04/2022.

CENEVIVA, L. L. V.; PEDÓ, F. **Retificação do Inventário das Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município de São Paulo 2010-2017**. Ata da 78ª Reunião Ordinária do

Comitê Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia em 18/02/2020. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/Apres%20Retificacao%20do%20Inventario%20GEE%202010-2017.pdf>. Acessado em: 25/03/2022.

COMPOSUL. **O sistema GORE@COVER: uma tecnologia líder em compostagem/biossecagem para tratamento de resíduos orgânicos.** Içara-SC: COMPOSUL. 16p. 2019.

CORTEZ, CRISTIANE LIMA et al. Alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. In: **7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, Resumo, Fortaleza.** 2009.

CORTEZ, Cristiane Lima. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia-estudo de caso: AES Eletropaulo.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CORTEZ, Cristiane Lima; COELHO, Suani Teixeira. ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS DE PODA DE ÁRVORES URBANAS. 2012.

DE MIRANDA, Ronaldo Leão; MARTINS, Eliane Maria; LOPES, Kamila. A potencialidade energética da biomassa no Brasil. **Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**, v. 5, n. 1, p. 94-106, 2019.

DOS SANTOS, Guilherme Garcia Dias. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ELLEN MCCARTHUR FOUNDATION. **Circular Example - Regenerative agriculture around São Paulo: Connect the Dots.** Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/connect-the-dots>. Acessado em: 25/03/2022.

ENEL. **ENEL – Manejo e Poda de Árvores.** Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/quemsomos/meio-ambiente/manejo-e-poda-de-arvores.html>. Acessado em: 25/03/2022.

ESCOBAR, Javier Farago. **A produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: O caso dos pellets de madeira.** 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERREIRA, R. G. A. **Tratamento de lodo de esgoto em conjunto com resíduos de poda e capina através da biossecagem visando a produção de combustível derivado de resíduo CDR.** Dissert. Escola Politécnica-USP: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II. 2021. 107f.

GALVÃO, Rafael Golim. **Compostagem em áreas urbanas: lições aprendidas no Projeto Feiras e Jardins Sustentáveis da Lapa, São Paulo-SP, Brasil.** Dissert. UNINOVE - Universidade Nove de Julho, 2019, 275f.

GARCIA, Dorival Pinheiro. Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. 2010.

GBIO-USP. **Conceituando Biomassa.** Grupo de Pesquisa em Bioenergia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/livro/conceituando-biomassa#:~:text=Assim%2C%20do%20ponto%20de%20vista,utilizado%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia.html>. Acessado em: 2/4/2022.

GÓMEZ, Edivardo Olivares. **A tecnologia de pirólise no contexto da produção moderna de biocombustíveis: uma visão perspectiva.** Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_energia/a_tecnologia_de_pirolise_no_contexto_da_producao_moderna_de_biocombustivies_uma_visao_perspectiva.html. Acessado em: 25/03/2022.

GONÇALVES, Flávia et al. Avaliação do potencial energético dos resíduos lignocelulósicos gerados no campus da Unifor. In: Congresso Internacional de Biomassa. Curitiba. Anais do CIBIO. Vol. 4. Pág. 207-212. 2019.

IBP. Instituto Brasileiro das Indústrias de Pellets, Biomassa e Briquete.

JACINTO, Rodolfo Cardoso. **Produção de pellets para energia usando diferentes resíduos de biomassa agrícolas e florestais.** 2017. Tese de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JUNIOR, Paulo de Abreu Ferreira Valente. O combustível derivado de resíduos no contexto das políticas nacionais de energia e resíduos sólidos. XXIII Congresso Nacional do CONPEDI/UFPB. Direito Ambiental II, editora CONPEDI. Pág. 356 - 372, 2014.

KARLSOON, Tommy et al. **Manual Básico de Biogás.** 1º Edição. Lajeado. Editora

Univates. 2014.

LOPES, Kamila; MARTINS, Eliane Maria; MIRANDA, Ronaldo Leão. **A potencialidade energética da biomassa no Brasil**. Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate. RDSD v.5 n.1 2019 p.94-106. 2019.

MARTINI, Adriana Amaral. **Estudo de alternativa de valorização de resíduos de serviços de saúde advindos de processo de desinfecção por desativação eletrotérmica (ETD)**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MEIRA, Ana Maria de. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOALLEMI, Enayat A. et al. Local Agenda 2030 for sustainable development. **The Lancet Planetary Health**, v. 3, n. 6, p. e240-e241, 2019.

MORI, Anna Kaiser; STOREL JÚNIOR, Antonio Oswaldo; FRANCO, Fernando de Mello; SMDU ABREU, Giselle Kristina Mendonça; CUERBAS, Leandro Costa; DE ASSIS, Luiz Henrique Bambini. **Connect the Dots**. São Paulo: Applied Research and Advisory Body, Municipal Secretariat of Urban Development. 2016. Disponível em: <https://www.iabr.nl/en/project/connect-the-dots>. Acessado em: 25/03/2022.

NEVES, Vanessa Ferreira. **Caracterização de resíduos de poda, amostragem de poluentes advindos de sua queima e eficiência de combustão**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Câmpus de Itapeva, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/203716>. Acessado em: 25/03/2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. 2015.

PEDROZA, Marcelo Mendes et al. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos em processo de pirólise. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p. 184-207, 2017.

PRADHAN, Priyabrata; ARORA, Amit; MAHAJANI, Sanjay M. Pilot scale evaluation of fuel pellets production from garden waste biomass. **Energy for Sustainable Development**, v. 43, p. 1-14, 2018.

PRADHAN, Priyabrata; MAHAJANI, Sanjay M.; ARORA, Amit. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. **Fuel Processing Technology**, v. 181, p. 215-232, 2018.

SANTOS, Tabatha; ROVARIS, Nicole Regina Souza. Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva. **Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**, v. 6, 2017.

SANTOS, Jorge Luis Dias; TAMBANI, Pâmela Coelho. Potencial energético de diferentes biomassas disponíveis no Brasil. In: IV Congresso Internacional de Biomassa. Curitiba. Anais do CIBIO. Vol. 4. Pág. 616-621. 2019.

SÃO PAULO, Câmara Municipal. **Lei N° 13.478, de 30 de Dezembro de 2002**. Publicação no Diário Oficial da cidade de São Paulo de 31 de Dezembro de 2002.

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 12.300, de 16 de Março de 2006**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Diário Oficial - Executivo, 17/03/2006, p.1.

_____, Câmara Municipal. **Lei N° 14.723, de 15 de Maio de 2008a**. Publicação no DO da cidade de São Paulo de 16 de Maio de 2008, seção 1. Pág. 1.

_____, Câmara Municipal. **Lei N° 14.803, de 26 de Junho de 2008b**. Publicação no DO da cidade de São Paulo de 27 de Junho de 2008.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS_2014)**. 2014. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf>. Acessado em: 25/03/2022.

SÃO PAULO. Secretaria do Verde e do Meio Ambiente. **Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA-2017)**. 2017. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/PMMA_final_8_jan%20ok.pdf. Acessado em: 25/03/2022.

_____, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 481**, de 03 de Outubro de 2017. Publicação no DOU n° 194 de 09 de outubro de 2017, seção 1. Pág. 93.

_____, Câmara Municipal. **Lei N° 17.267, de 13 de Janeiro de 2020**. Publicação no DO da cidade de São Paulo de 14 de Janeiro de 2020.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. **2020) Plano Municipal de Arborização**

Urbana (PMAU-. 2020. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/arquivos/pmau/PMAU_texto_final.pdf. Acessado em: 25/03/2022.

SÃO PAULO, Secretaria de Estado da Infraestrutura e do Meio Ambiente. **Resolução SIMA Nº 047, de 06 de agosto de 2020**, republicada no DOE de 29/08/2020 – seção I págs. 32/34.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. **Plano de Ação Climática do Município de São Paulo (PlanClimaSP 2020-2050)**. 2021a. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/arquivos/PlanClimaSP_BaixaResolucao.pdf. Acessado em: 25/03/2022.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal de São Paulo. **Programa de Metas da Gestão 2021-2024 do Município de São Paulo**. 2021b. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/governo/SEPEP/arquivos/pdm-versao-final-participativa>. Acessado em: 25/03/2022.

SGORLA, Vitória et al. Caracterização de resíduos gerados na colheita e no beneficiamento da macieira para fins energéticos em leitos fluidizados polidispersos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 12, n. 2, 2018.

SILVA, Dafne Pereira da. **Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvore visando ao aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Julie Brenda Santos da; CRUZ, Glauber. Potencial energético dos resíduos de podas urbanas e reaproveitamento por meio da produção de biocombustíveis. In: VI Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, (VI CBRS 2019). Universidade Ceuma - São Luís (MA).

SOUZA, M. M.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; BARBOSA, A. C. Produção e avaliação de pellets compostos por diferentes proporções de resíduos sólidos urbanos. **Nature and Conservation** , v.13, n.3, p.80-92, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2020.003.0008>. Acessado em: 25/03/2022.

SOUZA, C.; GUIMARÃES, C. C.; VELASCO, G. D. N.. Reaproveitamento de resíduos de poda e sua colaboração para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **13º Seminário Internacional NUTAU**, 2020. Dezembro de 2020. <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/nutau2020/40.pdf> . Acessado em: 25/03/2022.

USHIMA, Ademar Hakuo. Os desafios para viabilizar resíduos agrícolas como combustíveis. Revista Brasil Energia. Ed. 457. 3 p. 2019.

VOGEL, Franz. **Composting and Biodrying of MSW and SOW with the Gore Cover System.** Jundiaí-SP: UTV-AG. 2014. Disponível em: https://jundiai.sp.gov.br/servicos-publicos/wp-content/uploads/sites/18/2014/11/10-FRANZ_VOGEL.pdf. Acessado em: 02/04/2022.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219-228, 2019.

ZYLBERSZTAJN, David. Conversando sobre energia. 2014.

ZYLBERSZTAJN, David. Velocidade da transição energética pós pandemia. 27 - 27 de Maio de 2020. Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Coppe UFRJ. Notas de aula.