UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

GABRIEL DIAS MANGOLINI NEVES

Redes e Arranjos: Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de Campinas

São Paulo

2020

GABRIEL DIAS MANGOLINI NEVES

Redes e Arranjos: Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de Campinas

Versão Corrigida

Defesa de Dissertação do Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Helena Lara dos Santos Matai

São Paulo

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Neves, Gabriel Dias Mangolini.
Redes e arranjos: aproveitamento energético dos resíduos sólidos da Região Metropolitana de Campinas / Gabriel Dias Mangolini Neves; orientadora: Patrícia Helena Lara dos Santos Matai. – São Paulo, 2020.
81 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Resíduos sólidos. 2. Recursos energéticos. 3. Região Metropolitana - Campinas. Título.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961

Nome: NEVES, Gabriel Dias Mangolini

Título: Redes e Arranjos: Aproveitamento energético dos resíduos sólidos da Região Metropolitana de Campinas

Defesa de Dissertação do Programa de Pós Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição:_____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição:_____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição:_____

Julgamento: _____

RESUMO

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos é um dos desafios dos governos municipais brasileiros. Com base nos objetivos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o presente estudo tem como objetivo estabelecer possibilidades de arranjos institucionais e redes tecnológicas para promover tecnologias *Waste-to-Energy* para recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos em regiões metropolitanas, tendo como estudo de caso a Região Metropolitana de Campinas, S.P., Brasil. A metodologia utilizada empregou o *Archival Research Method* e a *Documentary Research* para coleta de dados secundários. A coleta de dados primários utilizou o *SnowBall* como um método de busca de informações. O estudo calculou o potencial de recuperação de energia para cada uma das tecnologias selecionadas: disposição em aterro sanitário, biodigestão anaeróbia da fração orgânica, incineração e gaseificação. Os resultados mostraram que, no cenário *business as usual*, as rotas tecnológicas apresentaram um potencial máximo de recuperação de energia de 390 GWh com o uso da incineração. No cenário metropolitano, considerando uma mudança estrutural na gestão, com a garantia de uma gestão de resíduos mais adequada para a região, e, considerando as metas de reciclagem previstas, há uma recuperação máxima de energia potencial de 266 GWh com a combinação de tecnologias de digestão anaeróbia da fração orgânica e gaseificação. Este segundo cenário, ao contrário do cenário *business as usual*, apresenta pontos positivos alinhados à PNRS (possibilidade de priorizar o gerenciamento dos resíduos por meio de reciclagem, inserção de cooperativas de catadores de materiais recicláveis, tratamento dos resíduos por recuperação de energia, redução de impactos ambientais no tratamento de resíduos, redução do volume dos resíduos destinados a aterros sanitários combinados com uma maior sustentabilidade financeira na gestão dos resíduos nos municípios), apesar de representar um potencial energético de 64% do cenário *business as usual* e 2,2% do consumo anual da região. Portanto, os sistemas *Waste-to-Energy* mostram que podem não apenas melhorar os sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos, mas também fortalecer a cooperação entre os municípios por meio de consórcio e atender aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Palavras-chaves: Resíduos Sólidos Urbanos; Região Metropolitana de Campinas; aproveitamento energético; redes; arranjos; *Waste-to-Energy*.

ABSTRACT

The integrated management of municipal solid waste is one of the challenges of Brazilian municipal governments. Based on the objectives set by the Brazilian National Solid Waste Policy, the present study aims to establish possibilities for institutional arrangements and technological networks to promote Waste-to-Energy technologies for the energy recovery of municipal solid waste in metropolitan regions, having as a case study the Metropolitan Region of Campina, Brazil. The literature review uses Archival Research Method and Documentary Research for gathering secondary data. Primary data collection use SnowBall as an information search method. The study calculated the potential for energy recovery for each one of the selected technologies (e.g. landfill gas capture, anaerobic digestion, incineration, and gasification). The results showed that, in the business as usual scenario, the technological routes presented a maximum energy recovery potential of 390 GWh with the use of incineration. In the metropolitan scenario, considering a structural change in management, with the guarantee of an adequate separation of waste in the region and considering the planned recycling targets, there is a maximum energy recovery potential of 266 GWh with the combination of anaerobic digestion and gasification technologies. This second scenario, on the contrary of the business as usual scenario, presents a series of positive points aligned with national policy (e.g. possibility of prioritizing the management of waste through recycling, insertion of recyclable material collectors' cooperatives, treating waste through energy recovery, reduction of environmental impacts in waste treatment, reducing the volume of waste destined for landfills combined with greater financial sustainability in the management of waste in municipalities), despite representing an energy potential of 64% of business as usual scenario and 2.2% of the region's annual energy consumption. Hence, Waste-to-Energy systems shows that can not only improve municipal solid waste management systems but also strengthens cooperation among municipalities through consortium and meet Brazilian National Solid Waste Policy objectives.

Keywords: Urban solid waste; Metropolitan Region of Campinas; energy use; networks; arrangements; Waste-to-Energy.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Índice estimativo de produção *per capita* de resíduos sólidos urbanos, adotados em função da população urbana

Quadro 2. Síntese dos modelos de gestão dos resíduos sólidos e arranjos institucionais subjacentes

Quadro 3. Dados demográficos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 4. Dados socioeconômicos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 5. Dados de consumo de energia dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 6. Dados dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 7. Custos de gestão dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 8. Arranjos institucionais e redes técnicas dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Quadro 9. Metas previstas de recuperação de materiais recicláveis para 2021

Quadro 10. Potencial calorífico dos resíduos sólidos urbanos

Quadro 11. Potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de Campinas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rede técnica de resíduos sólidos urbanos

Figura 2. Rede técnica real municipal – Cenário *business as usual*

Figura 3. Rede técnica idealizada regional – Cenário Metropolitano

Figura 4. Macrometrópole Paulista

Figura 5. Rodovias da Região Metropolitana de Campinas

Figura 6. Ocupação urbana na Região Metropolitana de Campinas

Figura 7. Área de segurança aeroportuária incidente na Região Metropolitana de Campinas

Figura 8. Unidades de conservação incidentes na Região Metropolitana de Campinas

Figura 9. Área de manancial do Comitê de Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí incidentes na Região Metropolitana de Campinas

Figura 10. Síntese das restrições territoriais incidentes na Região Metropolitana de Campinas

LISTA DE SIGLAS

ABiogás – Associação Brasileira de Biogás

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Urbana e Resíduos Especiais

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ARM – *Archival Method Research*

BAU - *Business as Usual*

CDR – Combustível Derivado de Petróleo

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

EMPLASA – Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo

IPC – Índices de Preços ao Consumidor

LHV – *Lower Heating Values*

OE - Objetivo Específico

OECD – *Organization for Economic Co-operation and Development*

PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PDUI – Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado

PIB – Produto Interno Bruto

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PPP – Parceria Público-Privada

PR – Paraná

RJ – Rio de Janeiro

RMC – Região Metropolitana de Campinas

RS – Rio Grande do Sul

RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SAAE – Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto

Seade – Sistema Estadual de Análise de Dados

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIMA - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SISAN – Sistema de Informações de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SP – São Paulo

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TGP – Taxa de Geração *per capita*

TMB – Tratamento Mecânico e Biológico

UC – Unidade de Conservação

URE – Unidade de Recuperação Energética

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1. Problematização 16
1.2. Justificativa 17
1.3. Objetivos 18
1.3.1. Objetivo Geral 18
1.3.2. Objetivos Específicos (OE) 18
2. REVISÃO DA LITERATURA 18
2.1. Região Metropolitana de Campinas 18
2.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos 20
2.3. Tecnologias de Aproveitamento Energético 24
2.3.1. Termoquímica 25
2.3.1.1. Incineração 26
3.3.1.2. Gaseificação 27
2.3.2. Bioquímica 28
2.3.2.1. Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica do RSU 28
2.3.2.2. Disposição de RSU em Aterro Sanitário 29
2.3.3. Síntese das Tecnologias de Aproveitamento Energético 30
2.4. Redes e Arranjos 30
3. METODOLOGIA 34
3.1. Estudo de Caso 34
3.2. Revisão da Literatura 36
3.3. Coleta de Dados 36
3.4. Análise Crítica e Sistematização dos Dados 38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 40
4.1. Cenários 40
4.2. Dados Municipais 42
4.2.1. Dados Socioeconômicos e Demográficos 42
4.2.2. Restrições Territoriais 49
4.2.3. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos 54
4.2.4. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos 56
4.2.5. Potencial de Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos 61
5. CONCLUSÃO 68
6. REFERÊNCIAS 72

ANEXO I 80
ANEXO II 81

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios das cidades brasileiras, é garantir uma boa gestão integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)[1] dado o constante aumento de sua geração, principalmente nas grandes aglomerações urbanas que vem ganhando destaque no processo de metropolização brasileiro a partir da década de 1970, onde a tendência da concentração populacional nas aglomerações metropolitanas ficou nítida, resultado do intenso fluxo migratório verificado ao longo da década de sessenta, e principalmente, setenta (BRITO; HORTA; AMARAL, 2016).

O processo de urbanização intensifica uma característica do sistema capitalista de consumismo através do surgimento de novas necessidade, que, de acordo com Bauman (2008), o advento do consumismo augura uma era de "obsolescência embutida" dos bens oferecidos no mercado criando um aumento significativo na indústria da remoção do lixo (BAUMAN, 2008).

Segundo Pisani Junior, *et al.* (2018), os processos de produção e o consumo humano geram grande quantidade de resíduos diversificados que requerem destinação ambientalmente adequada. Os RSU representam parcela significativa dos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas que, devido aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde, necessitam de gestão e gerenciamento integrados em concordância com a manutenção da qualidade socioambiental (PISANI JUNIOR; CASTRO; COSTA, 2018).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criada pela Lei nº 12.305 de 2010, aprovada após uma década de discussões realizadas, define a gestão integrada como o conjunto de ações voltadas para solucionar o problema dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável[2] (BRASIL, 2010). O gerenciamento inadequado dos RSU pode resultar em riscos indesejáveis às comunidades, constituindo-se, ao mesmo tempo, em problema de saúde pública e fator de degradação do meio ambiente, além, dos aspectos sociais, estéticos, econômicos e

[1] Segundo Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), entende-se por resíduos sólidos urbanos os resíduos domiciliares (originários de atividades domésticas em residências urbanas) e os resíduos de limpeza urbana (originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana), sendo que os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal (BRASIL, 2010).

[2]Este trabalho utiliza a definição de Desenvolvimento Sustentável do Relatório Brundtland, 1987, como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades.

administrativos envolvidos (PAVAN, 2010).

A PNRS consiste em um marco regulatório importante ao trazer o planejamento para a temática ambiental, temática esta que deixa de ser tratada por uma visão genérica e passa a ser tratada por uma visão sistêmica[3]. Conforme Oliveira, *et al.* (2016), o planejamento deve definir as condições pelas quais os objetivos da PNRS devem ser alcançados no âmbito de cada ente federativo. Os serviços públicos, por sua vez, têm por objetivo a criação de metas e a definição dos rumos da organização, considerando os diversos atores envolvidos e as particularidades que influenciam a escolha das estratégias. Além disso, deve-se considerar contextos futuros e desenvolver procedimentos e operações necessárias ao atingimento dos objetivos (OLIVEIRA; GALVÃO JUNIOR, 2016). O Artigo 7º da PNRS traz alguns objetivos[4] que serão tratados neste trabalho (BRASIL, 2010).

Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, a geração de RSU no país, no ano de 2018, foi de 79 milhões de toneladas, sendo estimado a coleta de 92% deste montante. Consequentemente, cerca de 6,3 milhões de toneladas de resíduos foram destinados de forma imprópria, possivelmente em terrenos baldios e margens de cursos d'água (ABRELPE, 2019).

A destinação inadequada dos RSU reforça à necessidade de políticas intersetoriais, quanto aos diferentes aspectos sociais, ambientais e econômicos que envolvem esse setor do saneamento básico. Os múltiplos impactos que podem ser causados por problemas relacionados com o gerenciamento inadequado dos RSU evidenciam a importância de uma abordagem integrada da gestão desses serviços (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

Esta abordagem integrada foi tratada na publicação da PNRS (BRASIL, 2010), que se firma como documento orientador e tem como desafio a otimização do gerenciamento de RSU do país.

---

[3] Visão sistêmica: ter o conhecimento de todas as variáveis e como elas se relacionam.

[4] Objetivos da PNRS a serem tratados neste trabalho, conforme Artigo 7º:

> II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
>
> IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
>
> VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
>
> VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
>
> X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
>
> XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

Com relação à natureza integrada da gestão, cabe mencionar a relevância da gestão intermunicipal e dos consórcios de saneamento ou de gestão dos RSU. Muitos municípios brasileiros encontram dificuldades que são quase insolúveis quando enfrentadas isoladamente para planejar, regular e promover a adequada operação dos serviços de manejo de resíduos sólidos. É, sobretudo, em razão da necessidade de superar essas deficiências estruturais, como a falta de logística adequada e a cota mínima de resíduos coletados que justifiquem os altos investimentos, que se torna necessário considerar a gestão regionalizada por meio dos consórcios públicos, buscando-se, assim, a sustentabilidade dos investimentos (MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018). Segundo Ferreira *et al* (2017), os consórcios têm sido vistos como uma alternativa no campo da gestão integrada de RSU, tanto para os municípios que buscam alternativas de local para a disposição final como para o ganho de escala, otimizando recursos e tratamento dos resíduos, além de atenderem a um maior número de municípios e viabilizarem a gestão dos RSU para todos (FERREIRA; JUCÁ, 2017). Segundo a PNRS, terão prioridade no acesso aos recursos da União os municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal (BRASIL, 2010).

Soluções consorciadas que se mostram importantes quando se trata de regiões metropolitanas brasileiras, regiões administrativas que geralmente apresentam altas taxas de conurbação[5], e a falta de espaço físico para a destinação final dos RSU através de aterro sanitário, apresentam limitações crônicas.

Antes da destinação final ambientalmente adequada, a PNRS orienta a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA). Os conceitos de recuperação e de aproveitamento energético dos resíduos sólidos são considerados as alternativas finais antes da destinação final em aterro sanitário. A PNRS discorre ainda sobre a possibilidade de utilizar tecnologias visando a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que seja comprovada sua viabilidade técnica e ambiental (BRASIL, 2015). Conforme Soares *et al* (2017), resíduos sólidos de origem urbana podem ser mais eficientemente destinados e reaproveitados para a produção de energia elétrica, como já acontece em países nórdicos e asiáticos, por isso, há alternativas tecnológicas para tais processos de destinação e reaproveitamento energético que

[5] Conurbação: junção de áreas urbanas de municípios diferentes, causados pela expansão urbana;

merecem ser estudadas e avaliadas, considerando seus processos dissipativos e seus impactos ambientais durante seus ciclos de vida (SOARES; MIYAMARU; MARTINS, 2017).

As tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos que serão discutidas neste presente trabalho são:

- Termoquímicas: Incineração; Gaseificação;
- Bioquímicas: Biodigestão anaeróbia da fração orgânica do RSU; Disposição de RSU em aterro sanitário.

Tais tecnologias apresentam diferentes pontos positivos e negativos com relação aos investimentos necessários, qualidade e quantidade de resíduos sólidos adequada, e impactos ambientais, sendo a avaliação dos conceitos intrínsecos do contexto metropolitano necessária para melhor fundamentação da viabilidade de cada uma.

O trabalho é elaborado em um momento importante para as regiões metropolitanas brasileiras, as quais passam por processo de elaboração do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI)[6](BRASIL, 2015), planejamento que geralmente inclui a temática dos RSU como função pública de interesse comum através da demanda da sociedade civil, nas audiências públicas e, servidores públicos dos municípios, nas reuniões das Câmaras Técnicas da Agência Metropolitana de Campinas (Agemcamp), abordando o tema de maneira metropolitana.

1.1. Problematização

A gestão de RSU no Brasil ainda apresenta problemas crônicos que permanecem após a publicação da PNRS. Em regiões metropolitanas não é diferente, tendo em vista as suas características de restrições territoriais relacionadas ao uso e ocupação do solo, a diversidade de qualidade e quantidade dos RSU, os altos gastos da municipalidade nas despesas com o gerenciamento de RSU, considerando-se que as suas diversas redes técnicas não apresentam solução simples para uma boa gestão regional, como preconiza a própria PNRS. Essas características são bem representadas nos municípios da Região Metropolitana de Campinas, com a sua diversidade populacional, econômica, social e ambiental.

[6] Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015, Artigo 2º: VI - plano de desenvolvimento urbano integrado: instrumento que estabelece, com base em processo permanente de planejamento, viabilização econômico-financeira e gestão, as diretrizes para o desenvolvimento territorial estratégico e os projetos estruturantes da região metropolitana e aglomeração urbana (BRASIL, 2015).

A dificuldade de obtenção de dados qualitativos e quantitativos de geração de RSU por parte dos municípios, a falta de informação sobre a definição das responsabilidades de cada parte interessada na gestão de RSU e os altos custos da gestão de RSU e limpeza urbana em relação aos demais gastos das municipalidades trazem complexidade no estabelecimento de um panorama metropolitano.

Outra questão objetivada pela PNRS é a utilização do aproveitamento energético como alternativa. Porém, no contexto metropolitano brasileiro, não é possível avaliar as vantagens e desvantagens de cada alternativa tecnológica de aproveitamento energético dos RSU de maneira genérica. A avaliação do *status quo*[7] da gestão de cada município e as diversas redes técnicas que estão estabelecidas no território são essenciais para uma possível visão regional, corroborada pelo estabelecimento da temática RSU como uma função pública de interesse comum no contexto metropolitano.

1.2. Justificativa

Uma variável importante a considerar para a tomada de decisão sobre rotas tecnológicas adequadas é o tamanho da população atendida. Soluções ou rotas tecnológicas adequadas para grandes cidades podem não ser as mesmas para pequenas e médias cidades; ou ainda, tecnologias não viáveis para pequenas cidades podem passar a ter viabilidade quando soluções associadas forem adotadas (FERREIRA; JUCÁ, 2017). Conforme Fiore (2013), as ações ligadas aos resíduos sólidos compõem as redes técnicas reais, com características específicas em cada localidade e constituídas de todos os fixos territoriais pelos quais circulam os resíduos sólidos, inclusive os inadequados ou irregulares. A rede técnica real é fruto de atividades de gerenciamento e revela as peculiaridades locais relacionadas à geração e ao manejo dos resíduos sólidos (FIORE, 2013). Portanto, analisar as particularidades locais, com relação às características municipais, para o estabelecimento de um panorama qualitativo e quantitativo dos RSU é tão importante quanto a análise regional das redes que influenciam as dinâmicas dentro das regiões metropolitanas para definição de uma estratégia de gestão compartilhada, que atenda a todos os requisitos de ordem territorial, econômico, social e ambiental.

Neste contexto, o presente trabalho se justifica pela necessidade de alternativas viáveis à gestão tradicional de RSU, juntamente com a redução dos custos do seu gerenciamento por parte dos agentes públicos municipais através dos arranjos tecnológicos de aproveitamento energético

[7] *Status quo* = Condição existente.

e que estejam alinhadas com os objetivos da PNRS.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo propor o arranjo tecnológico mais efetivo para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos em regiões metropolitanas.

1.3.2. Objetivos Específicos (OE)

- realizar um diagnóstico da geração de RSU de cada município da Região Metropolitana de Campinas (RMC), considerando os aspectos quantitativos e qualitativos;
- realizar um panorama atual da gestão de RSU de cada município da RMC;
- realizar análise das redes técnicas existentes na RMC e como elas influenciam a gestão de RSU;
- comparar as tecnologias de aproveitamento energético existentes;
- estabelecer diferentes cenários de redes técnicas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A Região Metropolitana de Campinas

A Região Metropolitana de Campinas (RMC) não destoa do problemático panorama brasileiro na inadequada gestão dos RSU, apresentando um cenário complicado em relação à gestão de resíduos de seus 19 municípios[8] . O município de Morungaba foi integrado à RMC em 2014 (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014), dos quais 12 municípios[9] destinavam seus resíduos para o aterro sanitário privado localizado em Paulínia,

[8] Americana, Arthur Nogueira, Campinas, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Itatiba, Jaguariúna, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara d'Oeste, Santo Antônio de Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo.
[9] Americana, Arthur Nogueira, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Hortolândia, Jaguariúna, Nova Odessa, Paulínia, Santo Antônio de Posse, Sumaré, Valinhos e Vinhedo.

gerido pela empresa Estre Ambiental S/A e os demais, sete municípios[10], em aterros controlados ou sanitários municipais com vida útil próxima de seus limites ou excedendo suas capacidades. Dessa forma, verifica-se um cenário de dependência de toda a RMC ao aterro sanitário privado de Paulínia (Estre) (AGÊNCIA METROPOLITANA DE CAMPINAS - AGEMCAMP, 2009).

De acordo com a Lei nº 13.089/2015, que institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências, em seu Art. 2º, inciso VII: região metropolitana é a unidade regional instituída pelos Estados e integra, conforme o caso, pelo Distrito Federal, por meio de lei complementar, constituída por agrupamento de municípios limítrofes para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum, que segundo o inciso II do mesmo artigo define como política pública ou ação nela inserida cuja realização por parte de um município, isoladamente, seja inviável ou cause impacto em municípios limítrofes (BRASIL, 2015).

Com uma população de aproximadamente três milhões e cem mil habitantes (FUNDAÇÃO SEADE, 2018), a RMC é uma região que apresenta uma grande variedade de características pelo seu território. Apresenta áreas com alto grau de urbanização, a segunda maior densidade demográfica entre as seis regiões metropolitanas do Estado de São Paulo[11], pontos significativos de conurbação, áreas com grandes extensões rurais, diferenças de renda *per capita*, importantes Unidades de Conservação, malha rodoviária expressiva, polos agrícolas de exportação, industriais e técnico-científicos e aeroportos de pequena e grande escala. Os fatos apresentados mostram uma unicidade municipal na RMC como um fator importante na caracterização de seus RSU, principalmente no que tange sua qualidade e quantidade. De acordo com Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) do Estado de Minas Gerais, os quesitos de quantidade e qualidade dos RSU podem ser influenciados por vários fatores, tais como o número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas e sazonais, mudanças na política econômica do país e na política nacional de resíduos sólidos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012). Portanto, a geração de resíduos sólidos pode ser considerada como importante indicador socioeconômico, tanto por sua quantidade como também pela sua caracterização. Fatores econômicos como crise ou apogeu refletem diretamente no consumo de bens duráveis e não duráveis, na alimentação e na consequente geração *per capita* de resíduos sólidos (CAMPOS,

[10] Campinas, Holambra, Indaiatuba, Itatiba, Monte Mor, Pedreira e Santa Bárbara d'Oeste.

[11] Região Metropolitana da Baixada Santista, Região Metropolitana de Campinas, Região Metropolitana de Ribeirão Preto, Região Metropolitana de São Paulo, Região Metropolitana de Sorocaba e Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

2012). Dessa forma, a gestão integrada de resíduos sólidos, definida pela PNRS como o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável[12] (BRASIL, 2010), influencia a qualidade da governança ambiental. Segundo Lemos e Agrawal (2006), trata-se do conjunto de processos regulatórios, mecanismos e organizações através das quais os atores políticos influenciam as ações e resultados ambientais (LEMOS; AGRAWAL, 2006). Consequentemente, pode-se considerar a gestão de RSU como um indicador de qualidade da governança municipal e regional.

2.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os processos de produção e o consumo humano geram tanto uma grande quantidade, quanto diversidade de resíduos que requerem destinação ambientalmente adequada. Os RSU representam parcela significativa dos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas que, devido aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde, necessitam de gestão e gerenciamento integrados em concordância com a manutenção da qualidade socioambiental (PISANI JUNIOR; CASTRO; COSTA, 2018).

A PNRS estabelece o conceito de RSU como os resíduos domiciliares (originários de atividades domésticas em residências urbanas) e os resíduos de limpeza urbana (originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana); em seu Art. 10º, estabelece que a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos territórios municipais são de responsabilidade da própria municipalidade (BRASIL, 2010). O gerenciamento inadequado dos RSU pode resultar em riscos indesejáveis às comunidades, constituindo-se, ao mesmo tempo, em problema de saúde pública e fator de degradação do meio ambiente, além dos aspectos sociais, estéticos, econômicos e administrativos envolvidos (PAVAN, 2010).

Rezende *et al* (2013), estabelecem que, para o sucesso de qualquer programa de gerenciamento de resíduos é fundamental conhecer detalhadamente o que se gera para planejar todo o sistema de gestão. Este planejamento deve considerar os conceitos indispensáveis de

[12] O conceito de Desenvolvimento Sustentável tem como premissa o Art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

redução e de não geração de resíduos, e não somente a coleta, o transporte, a reciclagem e a destinação final. A implementação de um programa para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de um município representa um grande desafio, necessitando, para a sua efetivação, a participação e responsabilidade compartilhada entre o Poder Público, a população e o setor produtivo. A efetivação do planejamento será positiva se forem classificados e quantificados os resíduos sólidos gerados em uma cidade, já que esta é a etapa inicial do processo de gestão municipal dos resíduos urbanos, e determina as ações e modelos a serem adotados (REZENDE et al., 2013).

A média estimada de geração de RSU pelo Banco Mundial, para o ano de 2016, foi de 1,2 kg/hab/dia. Porém, tal valor engloba países do continente africano e do leste asiático e pacífico com valores de 0,65 e 0,45, respectivamente, de um lado e países membros da OECD com valores superiores a 2,0 kg/hab/dia do outro (WORLD BANK, 2016) demonstrando uma disparidade com relação à geração de RSU entre países com dinâmicas socioeconômicas distintas e trazendo a necessidade de uma avaliação local desta dinâmica.

Conforme o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, a geração de RSU no país, no ano de 2018, foi de 79 milhões de toneladas, sendo estimado a coleta de 92% deste montante. Consequentemente, cerca de 6,3 milhões de toneladas de resíduos foram destinados inapropriadamente, possivelmente em terrenos baldios e margens de cursos d'água. Do total de resíduos sólidos coletados, mais de 29,5 milhões de toneladas foram destinados inadequadamente para lixões e aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para a proteção do meio ambiente contra danos e degradações. Considerando apenas a região sudeste, a geração estimada de RSU *per capita* foi de 1,232 kg/hab/dia. Nesta mesma região a situação de coleta sobe seis pontos percentuais da média nacional, ou seja 98% dos RSU da região sudeste foram coletados em 2018 (ABRELPE, 2019). Considerando a estimativa apresentada no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos referente ao ano de 2017 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que teve como base as informações autodeclaradas de 3.556 municípios brasileiros, foram coletados RSU de 91,7% da população brasileira, totalizando 60,6 milhões de toneladas. Na região sudeste, onde a abrangência do diagnóstico é de aproximadamente 90% da população total, tem-se uma taxa de coleta direta em relação a população urbana de 99,3% e uma massa coletada *per capita* de 0,91 kg/hab/dia, valor que representa um máximo de 10% de erro inferior em relação à geração, dado ao alto índice de taxa de coleta (BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL., 2019). A diferença entre os valores dos relatórios pode ser explicada devido ao fato dos dados da Associação Brasileira de Empresas de Empresa

Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) representarem pesquisa com empresas públicas e privadas do setor de limpeza pública e manejo de resíduos, e dos dados do SNIS serem informações auto declaratórias dos representantes municipais de forma oficial, sendo as duas estimativas a partir de coleta de dados de uma parcela dos municípios. Valores diferentes demonstram a grande dificuldade na quantificação dos RSU necessários para um efetivo planejamento municipal.

A mesma disparidade entre a geração de países com características socioeconômicas diferentes é apresentada internamente no país. O tamanho e as grandes diferenças internas brasileiras trazem uma necessidade de olhar diferenciado para as regiões brasileiras, onde, segundo o Panorama ABRELPE (2019), a região sudeste gerou, em 2018, 1,232 kg/hab/dia de RSU, valor 18,6 % superior à média nacional apontada.

O Inventário Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo parte de uma diferenciação na geração *per capita* de acordo com faixas de população, conforme **Quadro 1**.

Quadro 1. Índice estimativo de produção *per capita* de RSU, adotados em função da população urbana

População (hab)	**Produção (kg/hab/dia)**
Até 25.000	0,7
De 25.001 a 100.000	0,8
De 100.000 a 500.000	0,9
Maior que 500.000	1,1

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (CETESB, 2016).

Com as grandes dificuldades de quantificação dos RSU nas cidades, surgem algumas propostas que relacionam critérios facilmente definidos para estimar a geração *per capita* de RSU nas cidades.

Segundo Colvero *et al* (2017), ao contrário do que as pesquisas científicas apontam que, quanto maior a população do município, maior a geração *per capita* do mesmo, no Estado de Goiás, a geração per capita de RSU foi maior em municípios menores, conforme análise estatística dos quantitativos de RSU dos municípios goianos, obtidos via questionários, e, os quantitativos, obtidos via estudos realizados em municípios do Estado (COLVERO *et al*., 2017).

Silva *et al* (2012), avançam na relação entre a geração de RSU e fatores socioeconômicos (especificamente renda e educação) e demográficos (especialmente estrutura

etária e domiciliar), onde tais fatores influenciam o padrão de consumo e consequentemente a geração de RSU, através do cruzamento de dados socioeconômicos e demográficos, resíduos sólidos e espaço urbano. O emprego de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a utilização e métodos estatísticos multivariados possibilitou a determinação, no município de Belo Horizonte – MG, do perfil com maior potencial de geração *per capita*. Neste caso, destacaram-se a concentração de domicílios unipessoais, a população e os chefes de família com 60 anos e mais, e idade média elevada, fatores associados constantemente à renda e a escolaridade elevada (SILVA; BARBIERI; MONTE-MÓR, 2012).

Para os municípios do Estado de São Paulo, Pisani Junior *et al* (2018), trabalharam com a necessidade de estimativa da Taxa de Geração *per capita* (TGP) através das variáveis população, renda *per capita* e consumo *per capita* diário de energia elétrica, representada na Equação 1. Para tanto, foi definida uma equação aplicável à estimativa das TGP dos municípios paulistas através dos dados de geração de RSU dos municípios pelo SNIS (ou pelos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) bem como os dados de população, renda *per capita* anual e consumo anual de eletricidade pela Fundação SEADE, avaliações da representatividade das amostras, avaliações dos modelos estabelecidos e análises estatísticas (PISANI JUNIOR; CASTRO; COSTA, 2018):

$$TGP = -11{,}280 + 0{,}0356*Ln(P) + 0{,}0179*RPC + 11{,}347*[Ln(Ce)]^{0{,}0103} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

TGP = taxa de geração per capita de RSU (kg/hab/dia);

P = população total (hab);

RPC = renda per capita média diária (USD/hab/dia);

Ce = consumo per capita diário de energia elétrica (kWh/hab/dia) em cada município do Estado de São Paulo.

O planejamento municipal para a gestão de RSU começa pela classificação e quantificação dos resíduos gerados, onde, além da estimativa da quantidade total e por habitante, é de extrema importância a análise da composição gravimétrica ou composição física e o cálculo do peso específico (REZENDE et al., 2013).

De acordo com Oenning *et al* (2012), a variação na composição dos resíduos sólidos urbanos é observável podendo apresentar diferenças consideráveis de acordo com as regiões de uma mesma cidade, variando principalmente de acordo com o poder aquisitivo, a época do ano e a cultura associada à esta população (ADRIELLI DA SILVA OENNING et al., 2012).

A composição física é obtida pela determinação do percentual dos componentes mais comuns, tais como, vidro, plástico, metal etc. Os parâmetros físicos são expressos por características como umidade, densidade e poder calorífico, enquanto os parâmetros químicos, pelos teores dos elementos químicos (carbono, enxofre, nitrogênio, potássio e fosforo) presentes nos resíduos (CEMPRE, 2018). A composição orgânica é um parâmetro especial nas tomadas de decisão.

De acordo com pesquisa realizada por Costa *et al* (2012), os resultados da análise dos dados referentes à composição gravimétrica dos resíduos domiciliares possibilitaram verificar que nos setores com o predomínio de famílias com maior poder aquisitivo e melhor grau instrucional, ocorre uma maior incidência de material com potencial reciclável (vidro, plástico, etc.). De modo análogo, nos setores mais periféricos, onde a maioria das famílias possui uma baixa renda familiar e um menor nível educacional, observa-se a predominância de matéria orgânica, matéria prima para a compostagem (COSTA *et al*., 2012).

Outro apontamento relevante é a diferença dos percentuais de matéria orgânica em municípios com características diferentes. Segundo De Souza e Doliveira (2009), o município de Presidente Castelo Branco, P.R. apresentou 45% de matéria orgânica (DE SOUZA; DOLIVEIRA, 2009), enquanto o município de Campinas, conforme Lino e Ismail (2018), apresentava aproximadamente esta proporção em 1996, reduzindo para aproximadamente 37% em 2015 (LINO; ISMAIL, 2018).

Segundo Fiore (2013), o principal objetivo da categorização é a minimização dos impactos ambientais decorrentes da disposição final dos resíduos. Portanto, a viabilidade de beneficiamento dos materiais também deve ser avaliada por critérios que vão além da viabilidade tecnológica de recuperação, e contemplam também, os custos ambientais envolvidos em cada processo (FIORE, 2013), bem como o aproveitamento energético.

2.3. Tecnologias de Aproveitamento Energético

O uso de tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos não é uma questão recente. De acordo com Silva-Martínez *et al* (2020), atualmente tem-se considerado a procura e pesquisa por métodos de aproveitamento energético acessíveis através dos resíduos, trazendo à tona o debate sobre as tecnologias, como bioquímicas ou termoquímicas, que podem ajudar na crescente demanda por energia. Nos últimos anos, diversos estudos vêm apresentando

análises técnicas, ambientais e econômicas de diferentes tecnologias de *Waste-to-Energy*[13], bem como seus desempenhos comparativos para a produção de bioenergia *(*SILVA-MARTÍNEZ *et al*., 2020).

Em um recorte temporal de 2010 até o presente, justificado pelo ano de publicação da PNRS e abrangendo uma década, as pesquisas vêm de uma expressiva atenção aos potenciais energéticos de resíduos agrícolas e de seus principais efluentes e, em menor escala, os resíduos industriais, para uma atenção aos efluentes de tratamentos sanitário, e posteriormente, uma atenção aos RSU, foco do presente trabalho.

Uma série de estudos traz uma comparação entre as diferentes tecnologias de aproveitamento energético, demonstrando uma preocupação recorrente de uma base para tomada de decisão da gestão dos RSU. Os estudos compararam a disposição final em aterro sanitário com as tecnologias de aproveitamento do biogás gerado em aterros sanitários, incineração dos resíduos, biodigestão anaeróbia da fração orgânica, reciclagem e suas diversas combinações. Enquanto De Souza *et al* (2014), estimam um maior potencial energético na incineração dos RSU do município de São Paulo – SP (DE SOUZA *et al*., 2014), através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Goulart Coelho; Lange (2018), entendem como promissores os cenários de recuperação por meio da reciclagem e por meio da biodigestão anaeróbia como estratégias para o município do Rio de Janeiro – RJ (GOULART COELHO; LANGE, 2018) e Mersoni; Reichert (2017), configuram a associação das tecnologias de incineração, compostagem e biodigestão anaeróbia da fração orgânica com a reciclagem como estratégia essencial para o município de Garibaldi – RS (MERSONI; REICHERT, 2017).

2.3.1 Termoquímica

Os processos de conversões termoquímicos são processos que extraem o conteúdo energético dos resíduos utilizando tratamentos térmicos com altas temperaturas, onde a escolha do combustível determina o tipo de processo (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013). As rotas tecnológicas trabalhadas neste estudo são incineração e gaseificação; sendo a incineração a rota mais estudada devido ao seu histórico de maior utilização graças à relativa simplicidade do processo ante as demais tecnologias termoquímicas; porém, a gaseificação vem aparecendo em estudos nos últimos anos devido aos potenciais ambientais, econômicos e de flexibilidade do uso do combustível produzido (*syngas*). Não foram considerados estudos científicos

[13] Waste-to-Energy: Termo em inglês que significa energia do “lixo”, ou seja, recuperação de energia através dos resíduos.

relacionados às tecnologias de pirólise, devido à falta de dados para o cálculo do potencial energético e exemplos desta tecnologia em território nacional.

Tais rotas são baseadas na Portaria Interministerial nº 274 de 2019, que disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do Decreto nº 7.404, de 2010, onde tem-se a definição de Usina de Recuperação Energética de RSU – URE[14], onde traz-se os resíduos passíveis de encaminhamento para a URE, resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana e resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas, e, uma série de diretrizes operacionais a serem aplicadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019); e, na Resolução Estadual SMA nº 79 de 2009, que estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia – URE, estabelecendo condições operacionais, limites de emissão, critérios de controle e monitoramento (SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2009).

2.3.1.1 Incineração

A incineração é definida como tratamento térmico de resíduos sólidos com recuperação de energia térmica gerada pela combustão (GRYNWALD, 2014), sendo que, segundo Polzer (2013), a incineração de resíduos é um processo de tratamento que consiste na queima do lixo, reduzindo o seu volume e, portanto, aumentando a vida útil dos aterros sanitários. Esta é uma técnica antiga que vem sendo aprimorada e hoje se constitui em um sistema confiável, com geração de energia, neutralização de gases tóxicos e moderno controle operacional que visa complementar o processo de reciclagem, compostagem e aterramento (VERONICA POLZER, 2013). Há gases tóxicos apresentados como as desvantagens desta tecnologia, especialmente as emissões nocivas de gases ácidos (SOx, HCl, HF, NOx etc.) e compostos orgânicos voláteis, especialmente hidrocarbonetos poliaromáticos, bifenilos policlorados, policlorados dibenzo-p dioxina / furanos e metais pesados tóxicos lixiviáveis (HE *et al*., 2009). Onde, os sistemas de lavagem de gases necessários podem ocupar grande parte das usinas e representar até 35% do custo total (MUNIZ, 2015).

Outro conceito de recuperação térmica é o *Mass Burning*, considerado a rota tecnológica

[14] URE: qualquer unidade dedicada ao tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia térmica gerada pela combustão, com vistas à redução de volume e periculosidade, preferencialmente associada à geração de energia térmica ou elétrica.

mais difundida e empregada mundialmente para tratar os RSU e reaproveitar o seu conteúdo energético. Os RSU são descarregados em um fosso de armazenamento sem necessidade de qualquer pré-tratamento, e, através de garras mecânicas são dosados no sistema de alimentação das caldeiras ou fornos para serem incinerados, com excesso de oxigênio, gerando gases quentes que trocam calor, em uma caldeira, com as paredes dos tubos produzindo então vapor em alta pressão e temperatura, para uso térmico ou em conjuntos de turbinas e geradores para geração de energia elétrica. Os sistemas de queima mais empregados são o de Grelhas Móveis e de Leito Fluidizado (COMITÊ DE VALORAÇÃO ENERGÉTICA, 2012).

Devido ao modelo tecnológico, segundo Santos *et al* (2019), são considerados para a tecnologia de incineração tipos de materiais com alto potencial calorifico como papel e papelão, plástico, matéria orgânica, tecidos, couro e madeira (SANTOS *et al*., 2019). E, apresenta um potencial de redução de até 95% do volume dos resíduos sólidos (CHEREMISINOFF; ROSENFELD, 2010).

2.3.1.2 Gaseificação

A gaseificação, que consiste na transformação, total ou parcial, da matéria orgânica em gases cujos principais componentes são monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, e dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor d'água em diferentes proporções, possui um potencial de utilização para RSU pois estes apresentam um estoque de baixo custo dos resíduos de madeira e resíduos sólidos municipais, disponíveis como biomassa para produção de combustível gasoso (CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA, 2002). Segundo Miranda (2014), os diversos tipos de gaseificadores são classificados de acordo com o comportamento do leito da matéria a ser gaseificada, sendo o gaseificador de leito fixo mais difundido e implementado, principalmente em pequenas escalas e, o gaseificador de leito fluidizado mais adequado para conversão de uma maior quantidade de biomassa (MIRANDA, 2014).

A gaseificação de RSU reduz e evita corrosões e emissões ao reter metais pesados e alcalinos (exceto mercúrio e cádmio), enxofre e cloro nos resíduos do processo, evita a formação de policlorados dibenzo-p dioxina / furanos e reduz a formação térmica de NOx devido as baixas temperaturas e condições de redução (HE *et al*., 2009).

A estratégia de produção de *syngas* (ou gás de síntese) para geração de energia elétrica através da gaseificação estudada por Lopes *et al* (2018), teve por objetivo avaliar o ganho de potencial energético através da segregação dos RSU, sendo que resíduos com altos valores de umidade podem prejudicar a recuperação energética da gaseificação, uma vez que as moléculas

de água consomem uma quantidade significativa de energia durante a etapa de secagem, podendo chegar ao dobro do potencial energético quando da eficiência de 90% na segregação (LOPES *et al*., 2018). Estudos laboratoriais como de He *et al* (2009), e experimentos com equipamentos em escala comercial como o da Empresa ENERGOS, apresentado por Del Alamo *et al* (2012), trazem as influências dos parâmetros do processo de gaseificação como temperatura e tipo de sistema e da composição dos RSU na característica do *syngas* a ser produzido (DEL ALAMO *et al*., 2012; HE *et al*., 2009).

O Brasil apresenta um projeto piloto para o uso desta tecnologia que, segundo, Infiesta (2015), em seu estudo de viabilidade sobre o Projeto CIVAP – Consórcio Intermunicipal do Vale do Paranapanema – SP, a Planta Piloto, da empresa Carbogas Ltda., de gaseificação de leito fluidizado, conta com potência térmica instalada de 1MWth, geração de 741 Nm^3/h de gás combustível com PCI de 1.160 $kcal/Nm^3$ e consumo de até 325 kg/h de resíduo com PCI de 3.500 kcal/kg (INFIESTA, 2015).

2.3.2 Bioquímica

Nos processos bioquímicos, o conteúdo energético da fonte primária, pode ser convertido, através da bio-decomposição de resíduos, em combustíveis ricos em energia, que podem ser utilizados para diferentes propósitos (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013). As rotas estudadas são biodigestão anaeróbia da fração orgânica do RSU e disposição de RSU em aterro sanitário, sendo duas rotas historicamente utilizadas. A biodigestão anaeróbia da fração orgânica apresenta uma considerável quantidade de pesquisas devido ao seu potencial de recuperação energética em pequena escala, resíduos de um restaurante ou feiras, até larga escala por biodigestores com capacidade para os RSU gerados nas cidades. A recuperação de biogás dos aterros apresenta dois ramos de pesquisas: o primeiro no potencial de recuperação dos gases gerados nos aterros e sua viabilidade econômica, incluindo a venda de créditos de carbono e o segundo, a comparação entre esta rota, visto que a disposição final dos RSU em aterros sanitários é massivamente utilizada nas cidades brasileiras, e as demais rotas de recuperação energética, incluindo os impactos da recuperação de materiais recicláveis dos RSU.

2.3.2.1 Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica do RSU

A Biodigestão Anaeróbia consiste no processo de mineralização da matéria orgânica em condições anaeróbias, ou seja, ausência de oxigénio (O_2), em um sistema fechado, o biodigestor (LIMA, 2014).

Com a utilização de matéria orgânica dos resíduos, tem-se uma ampla variedade de

utilizações e combinações, conforme Silva *et al* (2018), que definem que a co-digestão de resíduos alimentares, lodo de esgoto e glicerol bruto maximiza a produção de energia ao aumentar as taxas de produção de hidrogênio e metano em um sistema de ácidogênese-metanogênese em dois estágios (SILVA et al., 2018). Náthia-Neves *et al* (2018), indicam a combinação dos resíduos alimentares com vinhaça da indústria de etanol como possível rota para produção de hidrogênio e metano (NÁTHIA-NEVESORCID et al., 2018).

A flexibilidade desta tecnologia possibilita a sua utilização em diferentes escalas, pequenas escalas, conforme Kuczman *et al* (2018), que desenvolveram um protótipo de digestor anaeróbico de fase única de pequena escala para um restaurante popular do município de Cascavel – PR, comprovando a alta influência da qualidade do resíduo orgânico para a eficiência do sistema, ou seja, para redução dos sólidos voláteis e demanda química orgânica e a produção de metano (KUCZMAN et al., 2018) corroborando com Silva *et al* (2017), que relacionam as características químicas da fração orgânica dos RSU do município de Santo André – SP, como lipídeos e composição proteica, com o processo de digestão (SILVA et al., 2017).

Considerando grandes escalas, Ferreira *et al* (2018), estudaram a utilização em larga escala do sistema de metanização extra-seco para o tratamento dos RSU do município do Rio de Janeiro – RJ, sendo este sistema capaz de tratar 23,5 t/dia com uma produção de 2.613 Nm^3biogás/dia, garantindo a autossuficiência da planta, da principal unidade de transbordo da cidade e, gerando excedente capaz de injetar energia elétrica na rede e na utilização na frota de caminhões de transbordo, obtendo ganhos econômicos e ecológicos na redução da utilização de energia elétrica da rede e de combustível diesel (FERREIRA et al., 2018).

2.3.2.2 Disposição de RSU em Aterro Sanitário

A recuperação energética do biogás em aterros sanitários se dá na sua captura através de sistemas drenantes dos gases gerados pela decomposição da matéria orgânica disposta nos resíduos aterrados. Segundo Da Paz *et al* (2015), estima-se que, no Estado de Pernambuco (entre 1990-2005), foram gerados 376.000 toneladas de CH_4, proporcionando um potencial de venda de crédito de carbono na ordem de 50 milhões de dólares em 15 anos (DA PAZ et al., 2015).

Entretanto, a recuperação energética do biogás apresenta muitas variáveis, conforme De Gomes *et al* (2015), que, utilizando lógica fuzzy, determinaram a sustentabilidade de aterros, em especial o aterro Bandeirantes, no município de São Paulo – SP, e, consideram critérios técnicos como oxigênio penetrando no solo, tipo de solo e sua granularidade, distribuição da

quantidade de água em várias partes do aterro e granulometria e volume de RSU para o cálculo de produção de metano (DE GOMES et al., 2015). Candiani; Moreira (2018), através de uma célula experimental, calcularam a produção de metano na região subtropical do Estado de São Paulo, indicando uma possível redução da longevidade dos projetos de aproveitamento energético do metano em aterros sanitários em regiões tropicais e subtropicais (CANDIANI; MOREIRA, 2018).

Apesar de não contabilizar algumas variáveis como custos de transporte e destinação final dos RSU, critérios ambientais, custo da terra, entre outros, Santos *et al* (2019), através de análises energéticas e econômicas, utilizando os parâmetros Valor Presente Líquido e Custo Nivelado de Energia Elétrica, observou a viabilidade econômica para a recuperação de energia do biogás do aterro, ao contrário da metanização da fração orgânica em digestores anaeróbios e combustão em incineradores (SANTOS *et al*., 2019).

Por outro lado, Leme, *et al* (2012), determinam que sistemas de aterros são as piores opções para gestão de resíduos, economicamente, considerando o potencial de geração de energia em comparação à incineração, e, ambientalmente, considerando o potencial de geração de gases do efeito estufa, acidificação, eutrofização e toxicidade (LEME *et al*., 2012). Dalmo, *et al* (2019), apresentam também um menor potencial teórico anual para geração de energia nos aterros sanitários do Estado de São Paulo, em relação à outras rotas tecnológicas como incineração, gaseificação, digestão anaeróbia e combinações entre elas (DALMO *et al*., 2019a). Esta tecnologia traz uma alta porcentagem de ar, podendo reduzir o poder calorífico dele, conferindo um gasto extra para o seu tratamento.

2.3.3 Síntese das Tecnologias de Aproveitamento Energético

Conforme exposto, as quatro tecnologias apresentam vantagens e desvantagens, exigindo a utilização de critérios específicos que devem ser utilizados na tomada de decisão. Segundo Dalmo, *et al* (2019), o potencial energético das diferentes tecnologias existentes e suas possíveis combinações podem influenciar o planejamento e a implantação de soluções mais adequadas aos preceitos da PNRS (DALMO *et al*., 2019a).

2.4. Redes e Arranjos

A ideia de redes remete à conectividade entre objetos, lugares e pessoas (FIORE, 2013). Segundo Silveira (2003), as técnicas expressam, por meio dos objetos técnicos, seu conteúdo histórico, e em cada momento de sua existência, da sua criação à sua instalação e operação,

revelam a combinação, em cada lugar, das condições políticas, econômicas, sociais, culturais e geográficas que permitem seu aproveitamento. Um desses objetos técnicos é a rede (SILVEIRA, 2003).

As redes que se configuram na atualidade possuem características distintas, tais como as redes de infraestrutura que funcionam como suporte para o fluxo de materiais e informação no território, como por exemplo as redes de transporte (rodovias, ferrovias, etc.), e as de comunicação e informação (infovias, internet, sistemas de comunicação via satélite, etc.) que apresentam-se como estruturas que são resultados e resultantes de uma maior tecnicidade do espaço geográfico, visando a realização ótima das ações empreendidas pelos agentes que dela participam. As redes de serviços responsáveis pela organização dos pontos e dos agentes, os quais atuam no território em uma determinada atividade, precisam de ordenamento das articulações econômicas, políticas e sociais para desenvolver e controlar as atividades multilocalizadas no espaço (PEREIRA, 2009), corroborando com Santos (1996), que entende a rede como social e política, pelas pessoas, mensagens e valores que a frequentam. Sem isso, e a despeito da materialidade com que se impõe aos nossos sentidos, a rede é, na verdade, uma mera abstração (SANTOS, 1996).

Todavia, ambas as redes, técnicas/materiais e de serviços, são redes organizacionais e instrumentais, porque organizam atividades e instrumentalizam ações, visando sempre objetivos específicos dos agentes que delas fazem uso. Pode-se afirmar que estes dois tipos se condicionam reciprocamente, visto que as redes de serviços são constituídas a partir das redes materiais e de pontos ativos no território, e as redes materiais ou de infraestrutura não teriam razão de existência se não fossem animadas pelas atividades que são organizadas entre diferentes localizações no território a partir de suas estruturas (PEREIRA; KAHIL, 2006).

Pereira e Kahil (2006), destacam também a existência de elementos fixos no território, e de fluxos que o animam, compreendendo as redes como formas e como normas, que possibilitam a realização dos movimentos no território. Assim, os diferentes tipos de redes transportam objetos e informações, comunicam dados, compartilham posições políticas e ordens no espaço geográfico, entre diferentes pontos e agentes (PEREIRA; KAHIL, 2006).

Dos diversos tipos de redes, dá-se destaque as redes urbanas, que segundo Corrêa (2011), são definidas pelo conjunto de centros urbanos articulados entre si. Consideradas como uma síntese, de todas ou da grande parte, das redes geográficas cujos nós e fluxos específicos iniciam-se, finalizam-se ou passam pelas cidades. A rede urbana pode assim, ser vista como a rede-síntese das demais redes geográficas, sendo ela própria uma rede geográfica (CORRÊA, 2011). De acordo com o processo de metropolização vivenciado por algumas regiões

brasileiras, principalmente no Estado de São Paulo, tais redes urbanas podem ser chamadas de redes metropolitanas.

Das diversas modalidades e fins, as redes urbanas ou metropolitanas podem ser utilizadas na descrição da gestão dos RSU. Sendo assim, dois trabalhos se evidenciam no que tange essas particularidades. O primeiro, traça uma rede de governança da gestão de RSU no Brasil através dos arranjos institucionais. Segundo Gambi (2018), o campo dos resíduos sólidos é privilegiado para o estudo de diferentes modelos e arranjos para a prestação de serviços públicos na medida em que opera com uma diversidade de atores, tanto externos, como as empresas privadas e as cooperativas e associações de catadores(as) de materiais recicláveis, quanto internos à prefeitura, por sua natureza intersetorial (GAMBI, 2018).

Esta rede se demonstra significativamente complexa devido aos diversos atores envolvidos, ao montante de recursos necessários e aos diferentes modelos de gestão possíveis. Gambi (2018), através dos conceitos legais de titularidade do serviço e titularidade da prestação dos serviços, avalia a evolução dos modelos de transferência da titularidade da prestação dos serviços para a iniciativa privada, aliada ao processo histórico de valorização da proposta liberal de estado mínimo incentivada, principalmente, nos países desenvolvidos por diversos atores nacionais e internacionais. No **Quadro 2**, está apresentada a síntese dos modelos de gestão dos resíduos sólidos e arranjos institucionais subjacentes.

Quadro 2. Síntese dos modelos de gestão dos resíduos sólidos e arranjos institucionais subjacentes

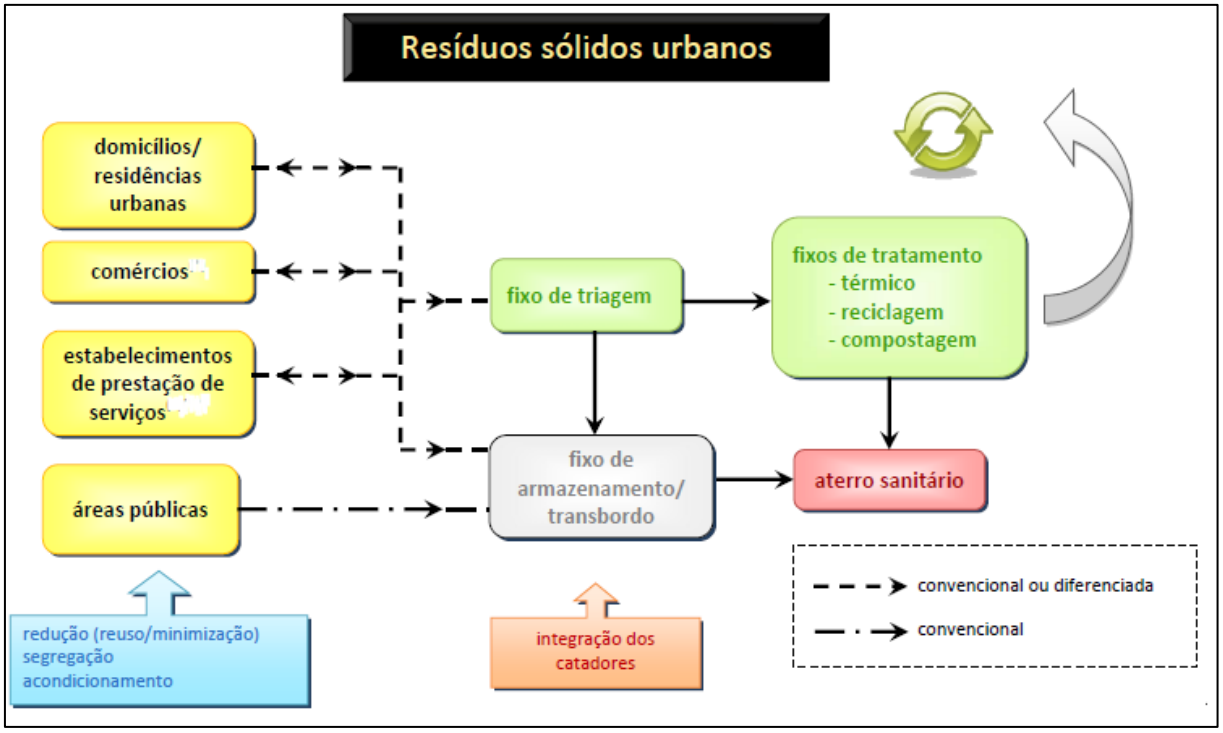
Modelo	**Arranjo Institucional**	
	Agente Executor	**Tipo de Vínculo**
Estatista (quando o agente executor faz parte da estrutura da administração pública)	Administração Direta	N/A
	Administração Indireta	N/A
	Consórcio Público	Contrato de Programa
Delegado (quando a prestação dos serviços é transferida para um terceiro)	Empresa Privada	Contrato Comum de Prestação de Serviço
	Empresa Privada	Contrato de Concessão Comum
	Empresa Privada	Contrato de Concessão Patrocinada ou Administrativa (PPPs)
	Cooperativas e Associações de Catadores/as de Materiais Recicláveis	Convênio
	Cooperativas e Associações de Catadores/as de Materiais Recicláveis	Contrato Comum de Prestação de Serviço

Fonte: (GAMBI, 2018).

Sendo que, devido as pressões econômicas, a transferência do modelo estatista para o modelo delegado se dá, majoritariamente, para as empresas privadas, reduzindo assim a importância e possibilidade de atuação das Cooperativas e Associações de Catadores(as) de Materiais Recicláveis.

O segundo, conforme Fiore (2013), tem-se que as redes técnicas de resíduos sólidos descrevem as diversas atividades humanas no território, sendo o conjunto de fixos mobilizados por atores sociais que permite o fluxo de resíduos e informações a eles relacionadas. Os elementos físicos que suportam as atividades relacionadas à geração de resíduos, beneficiamento e disposição podem ser descritos como objetos técnicos fixos no espaço, sendo assim, os fixos da rede técnica (FIORE, 2013). A **Figura 1** sintetiza esta rede técnica de resíduos sólidos estabelecida.

Figura 1. Rede técnica de resíduos sólidos urbanos



Fonte: (FIORE, 2013)

Com os dois modelos propostos, Gambi (2018) e Fiore (2013), pode-se estabelecer tanto as responsabilidades legais pelo serviço e pela prestação dos serviços relacionados aos RSU, quanto os diferentes atores em cada etapa de sua gestão.

3. METODOLOGIA

O trabalho teve como proposta metodológica o estudo de caso, onde buscou-se investigar a gestão atual dos RSU nos municípios da RMC e as tecnologias de aproveitamento energético existentes, traçando possibilidades de redes e arranjos que apresentem maior alinhamento aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contando com as seguintes etapas de execução para atendimento dos objetivos definidos: caracterização do estudo de caso; revisão bibliográfica; coleta de dados; análise crítica e sistematização dos dados.

3.1 Estudo de Caso

Esta estratégia de pesquisa é comumente usada em situações como pesquisa em

administração pública, estudos organizacionais e de planejamento regional e municipal e é a estratégia escolhida ao se examinarem acontecimentos contemporâneos, mas quando não se pode manipular comportamentos relevantes. Além de contar com muitas das técnicas utilizadas pelas pesquisas históricas, acrescenta observação direta e série sistemática de entrevistas (YIN, 2001).

O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados (GIL, 2008). Segundo Yin (2001), o estudo de caso é uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real, sendo que os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos (YIN, 2001). As evidências podem ser qualitativas ou quantitativas, podendo vir de trabalho de campo, registros de arquivos, relatórios verbais, observações ou combinações destes (YIN, 1981). Porém, segundo Gil (2008), existem alguns preconceitos contra o estudo de caso ((YIN, 1981), *apud* (GIL, 2008)):

- Falta de rigor metodológico: diferentemente do que ocorre com os experimentos e levantamentos, para a realização de estudo de caso, não são definidos procedimentos metodológicos rígidos.
- Dificuldade de generalização: a análise de um único ou mesmo de múltiplos casos fornece uma base muito frágil para a generalização.
- Tempo destinado à pesquisa: alega-se que os estudos de caso demandam muito tempo para ser realizados e que, frequentemente, seus resultados tornam-se pouco consistentes.

O próprio Yin (2001), combate estes argumentos ao dizer que cabe ao pesquisador o trabalho com afinco para exposição de todas as evidências de forma justa, onde o objetivo é expandir e generalizar teorias (generalização analítica) e não enumerar frequências (generalização estatística), sendo, o estudo de caso, uma forma de inquirição que não depende exclusivamente dos dados etnográficos ou de observadores participantes (YIN, 2001).

A escolha traz o caráter exploratório do estudo de caso, que tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 2002). Segundo Vianna (2012), as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade transmitir esclarecimentos sobre um determinado tema até então pouco explorado (VIANNA, 2012).

3.2. Revisão da Literatura

A revisão da literatura, pesquisa desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, tem sua principal vantagem no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente (GIL, 2008).

O estado atual da caracterização dos RSU e as tecnologias de aproveitamento energético para RSU foram definidas com base na metodologia de revisão da literatura *Archival Method Research* (ARM), que de acordo com Dewayne *et al* (2003), é o exame de dados previamente registrados, originalmente gerados para outros fins (DEWAYNE *et al*., 2003), utilizando as bases de dados Scopus e Scielo, com filtros para artigos publicados a partir de 2010 (ano de publicação da PNRS), territorializados no Brasil e excluindo os artigos que realizaram o estado da arte do tema.

A análise e conceituação das redes e arranjos foi definida através de revisão bibliográfica em três etapas, o histórico de conceituação do termo redes, em especial as redes urbanas e geográficas, tendo como base principal os estudos de Santos (1996), Pereira e Kahil (2006), Pereira (2009) e Corrêa (2011); a descrição das redes técnicas de resíduos sólidos como decorrentes das diversas atividades humanas no território, com base no estudo de Fiore (2013); e, a síntese dos modelos de gestão dos resíduos sólidos e arranjos institucionais subjacentes, através do estudo de Gambi (2018).

3.3. Coleta de Dados

A caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)[15] e os modelos de gestão aplicados nos 20 municípios da RMC teve como proposta inicial as Entrevistas Semiestruturadas, que segundo Trivinos (1987), são entrevistas definidas como aquelas que partem de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebe as respostas do informante (TRIVINOS, 1987). Porém, estas entrevistas acabaram se transformando em um questionário de triagem para localização documental das informações requeridas (**Anexo I**). Sendo assim, não foi avaliada a qualidade das informações

[15] Foi utilizado a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares dos municípios da RMC, pois os resíduos sólidos urbanos abrangem os resíduos de limpeza urbana, resíduos que não são necessariamente contabilizados nos reportes municipais e de maneira uniforme.

documentais com base no depoimento dos agentes sociais escolhidos. Estes agentes, ou informantes, foram encontrados segundo a metodologia *SnowBall*, definida como uma técnica de amostragem não probabilística; segundo Hudelson (1994), a amostragem pode parar quando se chega no "ponto de redundância", onde nenhuma informação nova está sendo descoberta, e todas as fontes em potencial foram exploradas (HUDELSON, 1994). Foi iniciada pela rede formada pelo Programa RECONECTA RMC[16] (SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE, 2020), onde este autor é participante e conta com os servidores públicos e técnicos ambientais dos órgãos municipais dos 20 municípios da RMC.

A metodologia *SnowBall* com a utilização do questionário de triagem se mostrou eficaz na medida em que foram sendo localizados os atores-chave para tais questionamentos, servidores públicos de secretarias responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos urbanos e limpeza urbana ou representantes dos consórcios incidentes na região, sendo que este autor percebeu que os questionamentos básicos (**Anexo I**) se tratavam de perguntas com respostas diretas, não havendo necessidade de novos questionamentos através das respostas dos informantes, além de ter sido possível a realização destas entrevistas de maneira remota através de dispositivos digitais como e-mail, telefone e aplicativos de conversa on-line.

De maneira complementar, foi utilizada a metodologia Pesquisa Documental, que segundo Gil (2008), se assemelha à pesquisa bibliográfica, porém vale-se de materiais que ainda não receberam um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa. A seleção dos principais bancos de dados oficiais com informações pertinentes ao tema e que se apresentam com acesso livre e on-line, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Seade), sites dos órgãos municipais responsáveis pela gestão dos RSU e Limpeza Urbana, sites de licitações, Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios presentes na região, entre outros, foi realizada com o intuito de complementação das informações a serem colhidas nos questionários de triagem e comparação com os dados apontados nos relatórios oficiais. As respostas aos questionários foram baseadas, em grande parte, em sites oficiais, principalmente os órgãos municipais responsáveis pela gestão dos RSU e dos Consórcios incidentes na região, onde os Planos Municipais de Gestão de Resíduos Sólidos e os Planos de Resíduos dos Consórcios estão depositados.

[16] Programa RECONECTA RMC é um Programa de mútua cooperação entre os 20 municípios da RMC e a Agência Metropolitana de Campinas para implantação de uma Área de Conectividade para garantia da conservação e recuperação da biodiversidade.

A etapa de comparação e complementação dos dados fornecidos pelos municípios e entes responsáveis com dados apontados de relatórios oficias se tornou importante na medida que os Planos Municipais e Consórcios não apresentaram dados de maneira padronizada entre eles, visto que observou-se uma diferença entre o ano do dado fornecido entre os municípios e o ano base escolhido para este trabalho, 2017.

Ainda utilizando a pesquisa documental, a coleta de dados territoriais existente, como delimitação de bacias hidrográficas, limites municipais, traçado de rodovias, restrições ambientais, uso do solo e demais informações pertinentes, foram feitas através das fontes oficiais existentes para cada temática (Comitê de Bacias PCJ, SNUC, IBGE, IGC, EMPLASA, Planos Diretores Municipais), considerando suas revisões mais recentes.

Foram necessárias escolhas visando trazer os dados para a representação mais próxima do real, visto que as informações coletadas são todas autodeclarações dos próprios municípios, estejam elas nos Planos Municipais de Resíduos Sólidos ou no SNIS. Sendo assim, foram utilizados os dados socioeconômicos e demográficos apresentados pela Fundação Seade, com base nos dados do IBGE Cidades, ano base 2017. Para os dados de consumo energético foram empregados os dados municipais da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA/SP). Para os dados de geração de RSD, gravimetria dos RSD, modelos de gestão dos RSD e custos de gestão dos RSD, foram priorizados os dados dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos e dos Consórcios incidentes na RMC; quando da falta deles, foram utilizados dados do SNIS, ano base 2017.

3.4. Análise Crítica e Sistematização dos Dados

A análise de dados consiste em examinar, categorizar, classificar em tabelas ou, caso contrário, recombinar as evidências tendo em vista proposições iniciais de um estudo (YIN, 2001).

Através dos conceitos e modelos de redes e arranjos apresentados na revisão da literatura, foram definidos dois cenários para estudo: o primeiro, cenário business *as usual (BAU)*[17], que estabelece a rede técnica real dos municípios da RMC, e, o segundo, cenário metropolitano, que estabelece a rede técnica idealizada regional.

A partir destes cenários com as definições dos fixos e dos fluxos das redes técnicas, foi realizado o diagnóstico da gestão dos RSU nos municípios da RMC, complementado com as

[17] *Business as usual* = o negócio como de costume.

questões de cunho territorial existentes nesta região, como informações importantes e influenciadoras para uma gestão mais efetiva dos RSU dentro da RMC. A sua tradução se deu em mapas com a utilização de SIG. O software utilizado foi o Quantum GIS 3.4, software livre de código aberto e multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Os dados de geração de RSD, gravimetria dos RSD, modelos de gestão dos RSD e custos de gestão dos RSD dos municípios foram comparados com dados socioeconômicos a fim de traçar tendências. Com a falta de alguns dados para o ano base de 2017, foi necessário ajustar os dados existente para a geração de RSD, sendo realizada uma projeção com base na última taxa de geração de RSD disponível com a Taxa Geométrica de Crescimento Populacional (%a.a. de 2010-2019) da Fundação Seade. Para os dados gravimétricos foram utilizados os dados disponíveis nos Plano Municipais de Resíduos Sólidos e dos Consórcios incidentes na RMC, mesmo quando da utilização de estudos de municípios vizinhos. Para a projeção de custos, para o ano base de 2017, quando necessário, foi utilizado o Índice de Preços ao Consumidor (IPC) da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas de São Paulo (FIPE/SP) (BRASIL, 2020) para o ano base 2017.

Os cálculos de potencial energético para as tecnologias existentes levaram em conta os resultados do estudo de: a) Dalmo, *et al* (2019b) baseado na metodologia do IPCC (2006), que utilizam além de revisão de literatura, dados de Gutierrez (2016), sobre os RSU do município de Santo André (DALMO *et al*., 2019b); b) dos dados obtidos em plantas com escala comercial da Associação Brasileira do Biogás (ABiogás) (ABIOGÁS, 2020a); c) do estudo de He *et al* (2009), que buscam determinar a influência da temperatura e do catalisador do reator no rendimento e na composição do produto no processo de gaseificação de RSU (HE *et al*., 2009); d) do estudo de Del Alamo *et al* (2012), que investigam a influência dos parâmetros do processo de gaseificação na composição e no valor calorífico do syngas produzido em escala comercial (DEL ALAMO *et al*., 2012); e) o estudo de viabilidade do Projeto CIVAP (INFIESTA, 2015).

Com base nas tecnologias: Disposição de RSU em Aterro Sanitário, Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica do RSU, Incineração e Gaseificação, foram estabelecidos os potenciais energéticos para internalização nos cenários propostos:

- Cenário *business as usual*, do total de RSU destinado para aterros sanitários em 2017, utilizando os valores de material reciclado recuperado estabelecidos no diagnóstico:
    - Disposição de RSU em Aterro Sanitário;
    - Incineração.
- Cenário metropolitano, combinação de tecnologias de recuperação energética

termoquímica e bioquímica, utilizando os valores de recuperação de material reciclado previstos, para o ano de 2021, na Minuta do Termo de Compromisso para a Implementação de Ações Voltadas à Economia Circular e Logística Reversa de Embalagens em Geral (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020):

- Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica do RSU;
- Gaseificação.

Duas considerações foram estabelecidas para o andamento deste trabalho:

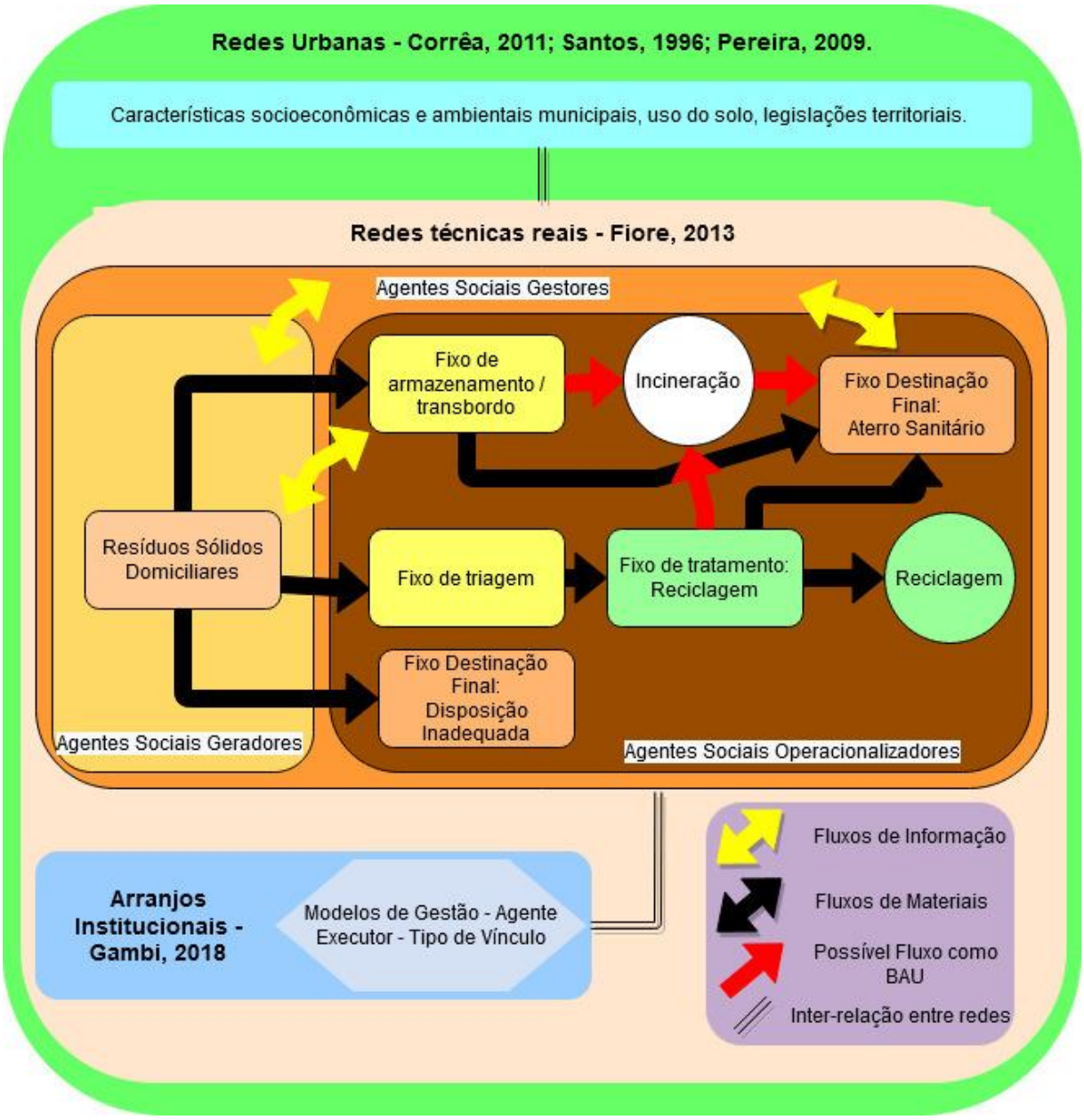
- Na primeira, os valores de recuperação de material reciclado previstos para o cenário metropolitano não consideram todas as condicionantes logísticas, sociais e econômicas que apresentam grande potencial influenciador no cumprimento das metas estabelecidas, sendo objeto de estudo específico para esta avaliação;
- Na segunda, devido à falta de estudos específicos das variáveis energéticas dos RSU de cada município da RMC, foram utilizados dados da literatura. Porém, como o objetivo deste trabalho é entender as possibilidades de melhores arranjos e redes para a RMC, a generalização do poder calorífico não foi fator crítico no resultado deste estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cenários

A proposição de cenários levou em consideração a revisão da literatura das redes e arranjos. Segundo Fiore (2013), as ações ligadas aos resíduos sólidos compõem as redes técnicas reais, com características específicas em cada localidade e constituídas de todos os fixos territoriais pelos quais circulam os resíduos sólidos (FIORE, 2013). Através da inter-relação das redes urbanas geográficas estabelecidas por Santos (1996); Pereira e Kahil (2006); Pereira (2009); Corrêa (2011), e os dois modelos apresentados por Gambi (2018) e Fiore (2013), foi possível estabelecer a rede técnica real municipal, como cenário *business as usual*, conforme **Figura 2**.

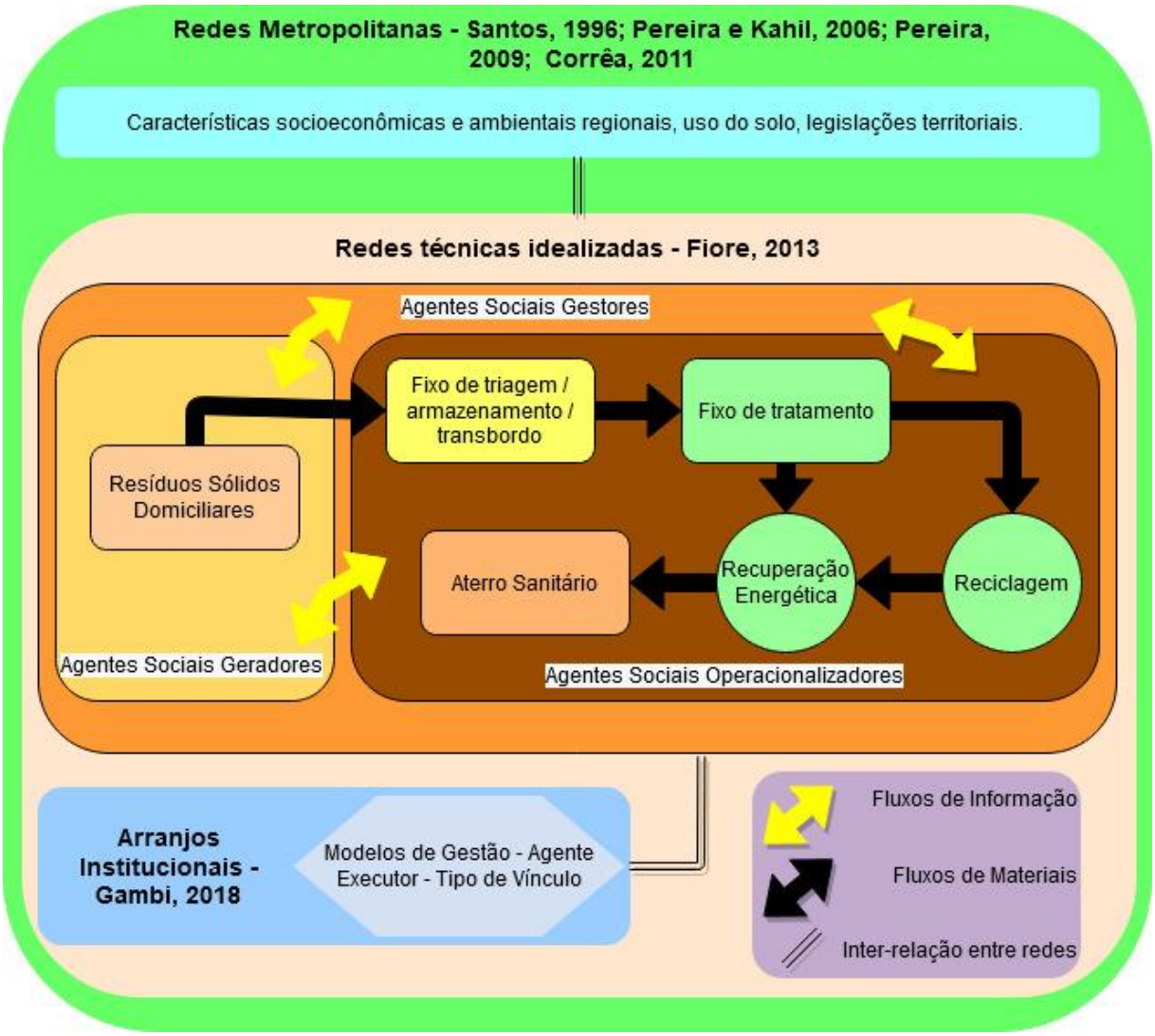
Figura 2. Rede técnica real municipal – Cenário *business as usual*



Fonte: Elaboração própria.

Ainda segundo Fiore (2013), as redes técnicas idealizadas de resíduos sólidos são aquelas em que a geração é a menor possível - considerando-se os pactos sociais vigentes no território – revertem-se os que são economicamente viáveis e minimizam-se os impactos decorrentes da disposição dos restantes (FIORE, 2013). Novamente, através da inter-relação das redes, agora ditas metropolitanas, geográficas estabelecidas por Santos (1996); Pereira e Kahil (2006); Pereira (2009); Corrêa (2011), e os dois modelos apresentados foi possível estabelecer a rede técnica idealizada regional, como cenário metropolitano, conforme **Figura 3**.

Figura 3. Rede técnica idealizada regional – Cenário Metropolitano



Fonte: Elaboração própria.

Em ambos os cenários, o fixo de reciclagem, mesmo que não tratado neste trabalho, apresenta o potencial de retorno as atividades produtos como matéria prima, assim como os produtos da recuperação energética.

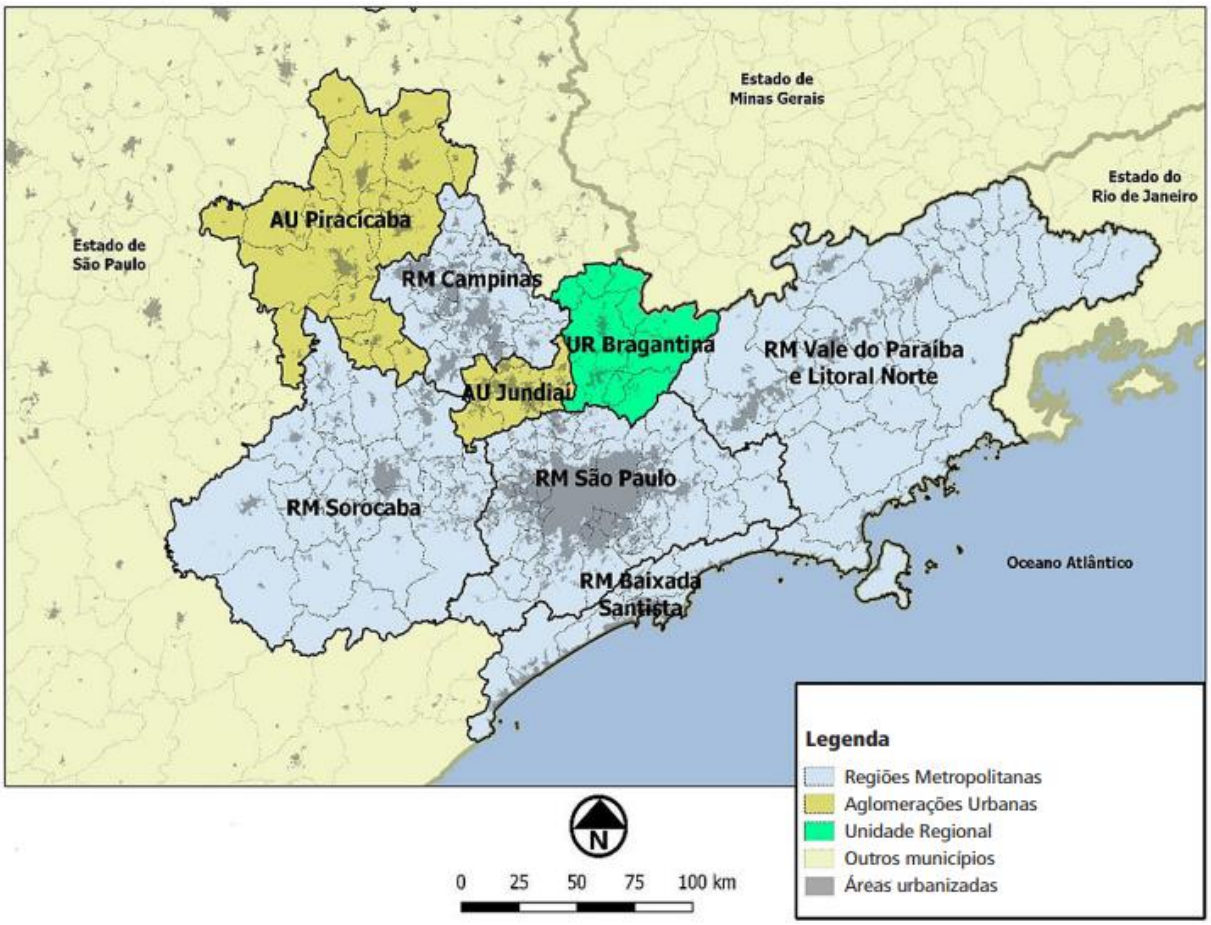
4.2. Dados Municipais

4.2.1. Dados Socioeconômicos e Demográficos

A localização da RMC no Estado de São Paulo é importante na percepção dos dados socioeconômicos e demográficos, pois, além de estar incluída na macrometrópole paulista, que representa a conexão das Regiões Metropolitanas de São Paulo, da Baixada Santista, de

Campinas, de Sorocaba e do Vale do Paraíba e Litoral Norte, as Aglomerações Urbanas de Jundiaí e de Piracicaba e a Unidade Regional Bragantina, ainda não institucionalizada (EMPLASA, 2019), conforme **Figura 4.**

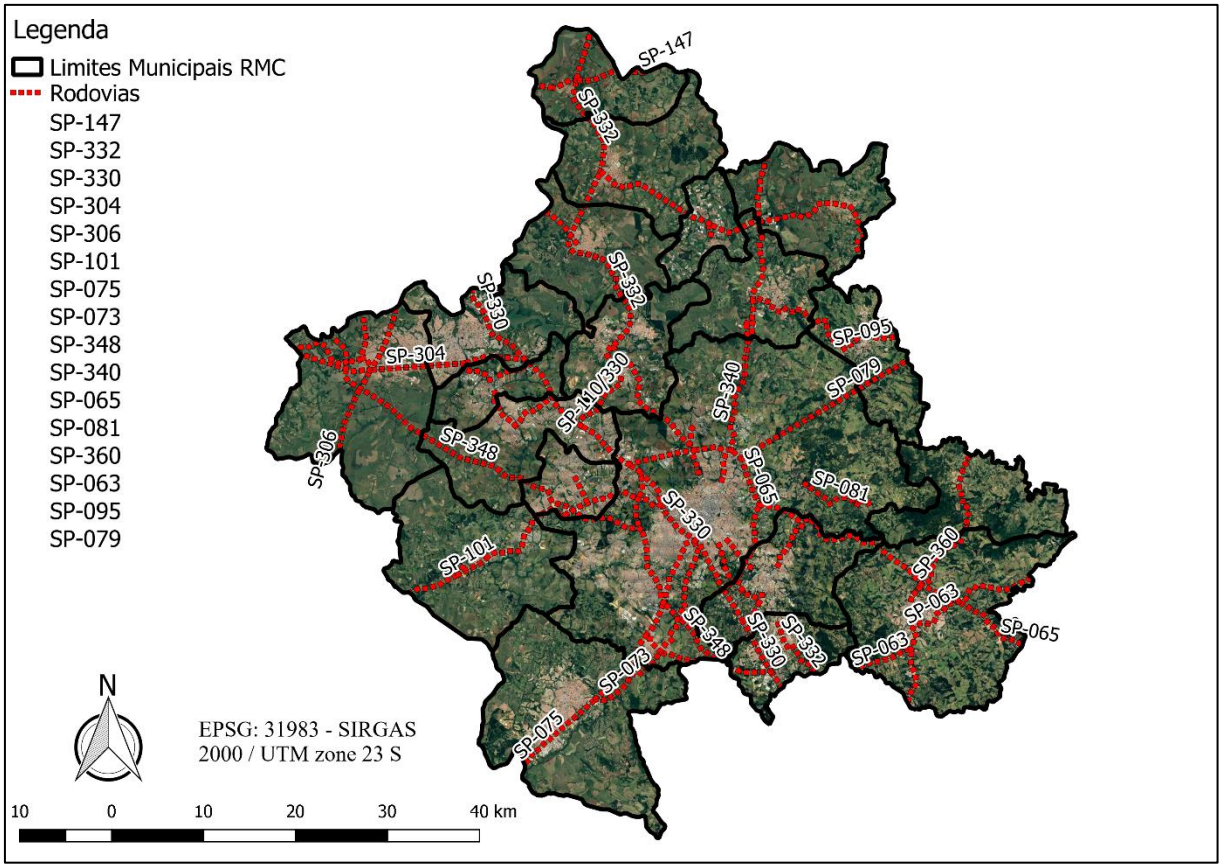
Figura 4. Macrometrópole Paulista



Fonte: (CASTRO; SANTOS JÚNIOR, 2017).

Como podemos observar pela **Figura 5**, a RMC possui em seu território algumas das principais rodovias estaduais que ligam outras regiões do Estado e a outros estados e um dos principais modais logísticos do país, o aeroporto de Viracopos.

Figura 5. Rodovias da RMC



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, base Rodovias da Prefeitura Municipal de Campinas, imagem de Satélite Google, 2020.

Conforme exposto, os dados socioeconômicos, demográficos e de consumo de energia são fatores influenciadores na geração de resíduos. Sendo assim, foram coletados os dados oficiais, para o ano base de 2017, para um melhor entendimento da RMC e de seus municípios, conforme **Quadros 3 a 5.**

Quadro 3. Dados Demográficos dos Municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	População	Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População (2010/2019) (%a.a.)	Densidade Demográfica (Habitantes/km²)	Área (km²)
Americana	227.223	1,06	1.696,83	133,91
Artur Nogueira	50.351	1,82	282,82	178,03
Campinas	1.148.431	0,88	1.445,35	794,57
Cosmópolis	67.647	1,99	437,36	154,67
Engenheiro Coelho	19.191	2,80	174,55	109,94
Holambra	13.616	2,61	207,62	65,58
Hortolândia	218.934	1,83	3.507,43	62,42
Indaiatuba	232.595	1,96	746,54	311,55
Itatiba	113.324	1,55	351,63	322,28
Jaguariúna	52.125	2,24	368,66	141,39
Monte Mor	56.383	2,03	234,37	240,57
Morungaba	12.816	1,21	87,33	146,75
Nova Odessa	56.142	1,29	760,83	73,79
Paulínia	98.916	2,59	712,75	138,78
Pedreira	45.162	1,17	415,01	108,82
Santa Bárbara d'Oeste	186.296	0,48	687,36	271,03
Santo Antônio de Posse	22.215	1,04	144,13	154,13
Sumaré	271.202	1,65	1.767,13	153,47
Valinhos	120.370	1,63	810,35	148,54
Vinhedo	73.561	2,05	901,48	81,60
RMC	3.086.500	1,33	786,98	3791,82
Estado de São Paulo	43.674.299	0,81	175,95	248219,94

Fonte: Dados adaptados do Panorama dos Municípios do IBGE Cidades e Perfil dos Municípios Paulistas da Fundação SEADE.

O **Quadro 3** mostra uma diferenciação em três grupos de municípios com base na sua população, menores que 100.000 habitantes, entre 100.000 e 300.000 habitantes e o município de Campinas com mais de 1.000.000 habitantes. Verifica-se que é possível observar taxas de crescimento anual maiores nos municípios do primeiro grupo o que mostra uma tendência de

deslocamento das populações das grandes cidades da RMC, principalmente Campinas, e das grandes cidades e polos econômicos da macrometrópole paulista.

Quadro 4. Dados Socioeconômicos dos Municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	PIB (R$)	PIB *per capita* (R$)	Setor Serviços (%)	Setor Industrial (%)	Setor Agropecuário (%)
Americana	R$ 10.382.872.900,00	R$ 49.694,64	75,75	24,14	0,11
Artur Nogueira	R$ 1.081.069.430,00	R$ 21.470,66	72,55	15,54	11,91
Campinas	R$ 59.053.563.020,00	R$ 51.317,32	79,57	20,23	0,20
Cosmópolis	R$ 1.575.660.760,00	R$ 23.292,40	59,80	38,42	1,78
Engenheiro Coelho	R$ 596.633.140,00	R$ 31.090,84	66,44	28,94	4,62
Holambra	R$ 908.164.720,00	R$ 66.698,35	49,99	33,29	16,72
Hortolândia	R$ 12.928.627.510,00	R$ 59.052,63	58,55	41,44	0,01
Indaiatuba	R$ 13.489.932.180,00	R$ 57.999,76	65,90	33,80	0,30
Itatiba	R$ 5.566.364.000,00	R$ 49.119,02	54,37	34,43	11,20
Jaguariúna	R$ 11.346.027.890,00	R$ 217.669,60	66,22	33,56	0,22
Monte Mor	R$ 2.917.996.570,00	R$ 51.775,17	41,30	57,25	1,45
Morungaba	R$ 424.901.110,00	R$ 33.156,54	56,60	38,04	5,36
Nova Odessa	R$ 3.175.070.710,00	R$ 56.554,29	68,11	31,36	0,53
Paulínia	R$ 35.346.489.870,00	R$ 357.342,06	41,25	58,66	0,09
Pedreira	R$ 1.128.534.290,00	R$ 24.898,13	74,09	25,09	0,82
Santa Bárbara d'Oeste	R$ 5.494.890.220,00	R$ 29.495,48	71,07	28,41	0,52
Santo Antônio de Posse	R$ 1.043.905.110,00	R$ 46.993,12	67,83	16,24	15,93
Sumaré	R$ 13.744.576.160,00	R$ 50.680,22	61,59	37,35	1,06
Valinhos	R$ 5.734.499.770,00	R$ 47.641,00	69,01	30,21	0,78
Vinhedo	R$ 8.729.935.720,00	R$ 118.676,14	60,78	39,08	0,14
RMC	R$ 194.669.715.080,00	R$ 72.230,87	64,76	34,47	0,96
Estado de São Paulo	R$ 2.119.854.034.990,00	R$ 48.537,53	76,75	21,21	2,04

Fonte: Dados adaptados do Panorama dos Municípios do IBGE Cidades e Perfil dos Municípios Paulistas da Fundação SEADE.

O **Quadro 4** mostra uma região metropolitana 49% mais rica do que o Estado de São Paulo, em relação ao PIB *per capita*, porém 40% dos municípios da RMC apresentam índice inferior ao do Estado e três municípios, Vinhedo, Jaguariúna e Paulínia, apresentam PIB *per capita* cerca de 2, 4 e 7 vezes superior ao do Estado, respectivamente. Com relação à divisão por setor da economia, a RMC segue o padrão estadual com mais de 60% da economia voltada para o setor de serviços, confirmando a tendência da macrometrópole paulista. Porém, ainda há grande presença do setor industrial em municípios como Vinhedo, Hortolândia, Sumaré, Monte Mor e Jaguariúna e, em municípios com o setor industrial relacionado ao setor agropecuário, como Cosmópolis, Holambra, Itatiba e Morungaba, e o município de Paulínia com o setor industrial voltado a atividade petroquímica. Estas características apontam uma grande diferenciação dos municípios da RMC havendo ainda presença do setor agropecuário ao norte e nordeste da região, característica histórica; a alta taxa do setor de serviços em municípios mais centrais e próximos da região sul e sudeste, onde há conexão com a Aglomeração Urbana de Jundiaí e a Região Metropolitana de Sorocaba; e, o setor industrial e logístico ao redor do município de Campinas e dos principais eixos logísticos rodoviários e aeroviários. O **Quadro 5** mostra o consumo de energia nos municípios da RMC.

Quadro 5. Dados de consumo de energia dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	Consumo Anual (MWh)	Consumo per capita (kWh/Habitante/dia)
Americana	1.150.273,00	13,87
Artur Nogueira	106.374,00	5,79
Campinas	3.242.014,00	7,73
Cosmópolis	133.430,00	5,40
Engenheiro Coelho	92.090,00	13,15
Holambra	77.663,00	15,63
Hortolândia	559.642,00	7,00
Indaiatuba	848.303,00	9,99
Itatiba	382.614,00	9,25
Jaguariúna	371.914,00	19,55
Monte Mor	164.706,00	8,00
Morungaba	89.080,00	19,04
Nova Odessa	368.709,00	17,99
Paulínia	1.106.748,00	30,65
Pedreira	197.199,00	11,96
Santa Bárbara d'Oeste	663.824,00	9,76
Santo Antônio de Posse	78.050,00	9,63
Sumaré	936.607,00	9,46
Valinhos	463.607,00	10,55
Vinhedo	436.657,00	16,26
RMC	11.469.504,00	9,66

Fonte: Dados adaptados do Panorama dos Municípios do IBGE Cidades e Dados Energéticos da SIMA/SP.

Os dados apresentados indicam que não foi possível mostrar uma tendência de relação do consumo *per capita* com outros índices apresentados, como população, PIB e economia. Tem-se como por exemplo a maior taxa em Paulínia devido à indústria petroquímica, Holambra com um alto índice do setor agropecuário voltado à produção de flores e o município de Americana com um dos maiores índices do setor de serviços da RMC. Estes três municípios possuem grandes diferenças populacionais entre eles.

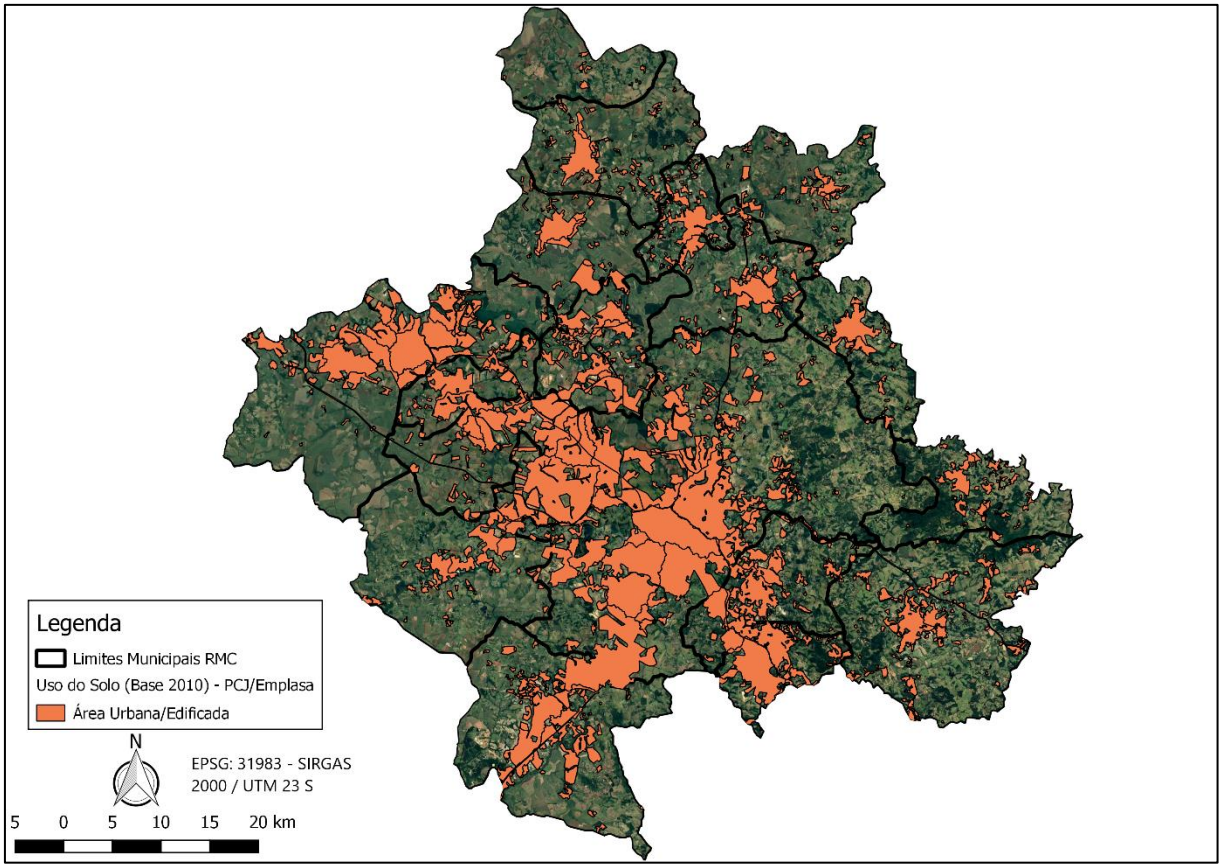
4.2.2. Restrições Territoriais

Como apresentado no item 3.3.1. a RMC apresenta características especiais devido à sua inserção na macrometrópole paulista, bem como a presença das principais rodovias estaduais e um dos principais aeroportos de carga do país, Viracopos; além de apresentar especificidades socioeconômicas e ambientais.

Como o foco deste trabalho é a avaliação das possibilidades de gestão dos RSD dos municípios da RMC com um olhar regional, atentando-se para as premissas e objetivos da PNRS e ao histórico brasileiro e regional de disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários, a partir da PNRS, foi importante realizar um diagnóstico de ocupação territorial e das restrições legais e ambientais que estão postas na RMC.

A ocupação urbana no território regional da RMC apresenta algumas características especificas. Dentre elas, a histórica ocupação territorial através dos eixos rodoviários existentes, **Figura 5**; a mudança da característica de expansão urbana das grandes cidades para as cidades vizinhas menores (da região metropolitana de São Paulo para as regiões metropolitanas vizinhas, **Figura 4,** e, dentro da RMC, dos municípios de Campinas e Americana, em menor escala, para as cidades vizinhas menores); e, a conurbação como efeito natural das regiões metropolitanas paulistas. O que estabelece a primeira restrição locacional e legal (condicionantes do licenciamento ambiental), conforme **Figura 6**, de novos grandes equipamentos para destinação dos RSU, traduzindo-se principalmente em grandes Aterros Sanitários e grandes usinas incineradoras.

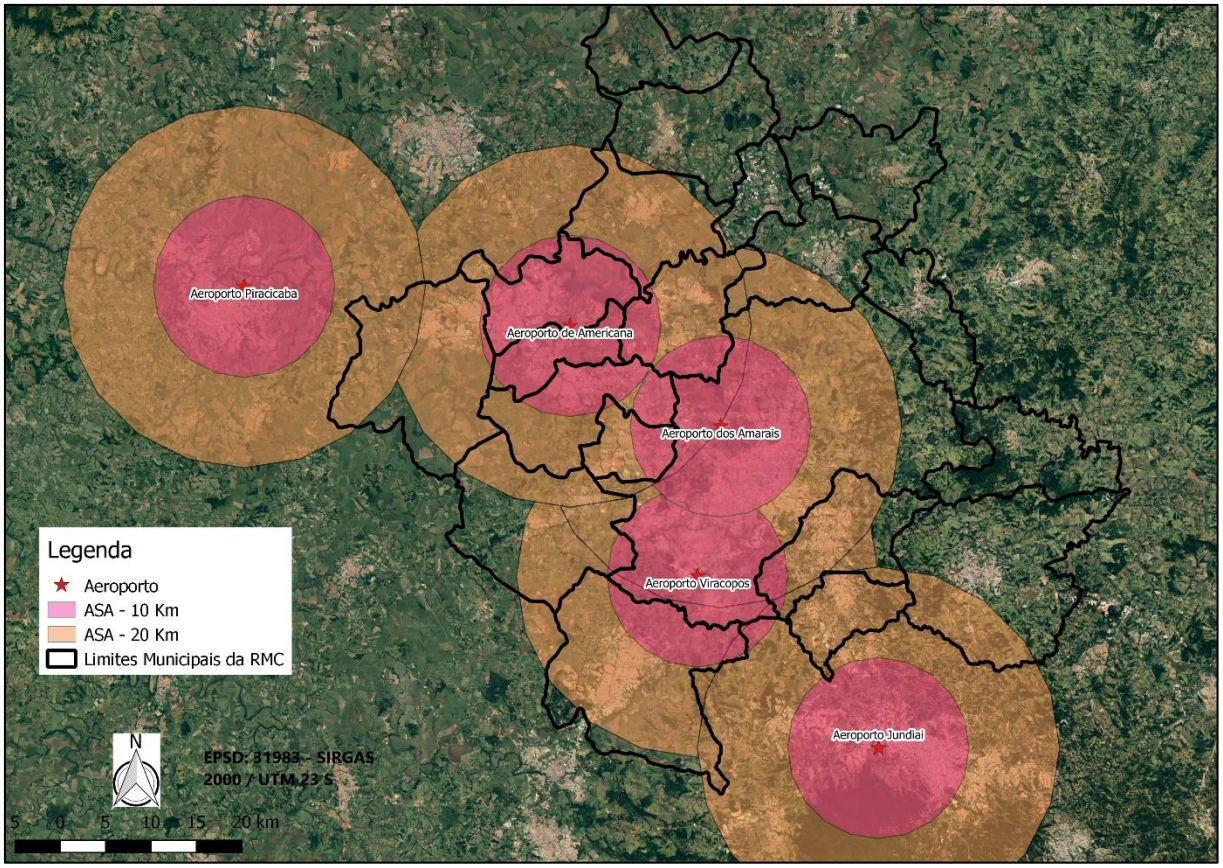
Figura 6. Ocupação urbana na Região Metropolitana de Campinas



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, base Uso do Solo do Comitê de Bacias do PCJ/Emplasa, base 2010, imagem de Satélite Google, 2020.

Uma segunda restrição territorial é resultando da presença de aeroportos de diferentes portes na região devido à grande atividade industrial, logística e comercial, além da necessidade de deslocamento de parte da demanda aeroportuária da grande São Paulo. Onde, de acordo com a Lei nº 13.725/2012, é definida uma Área de Segurança Aeroportuária (ASA) com raio de 20 km de aeroportos, cujos uso e ocupação estão sujeitos a restrições especiais em função da natureza atrativa de fauna (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2012). A **Figura 7** apresenta tais restrições que resultam na impossibilidade de implantação de novos Aterros Sanitários dentro de um raio de 10 km e adequações necessárias entre os raios de 10 km e 20 km, que podem inviabilizar a implantação de novos Aterros Sanitários ou existentes, durante o processo de renovação das licenças ambientais.

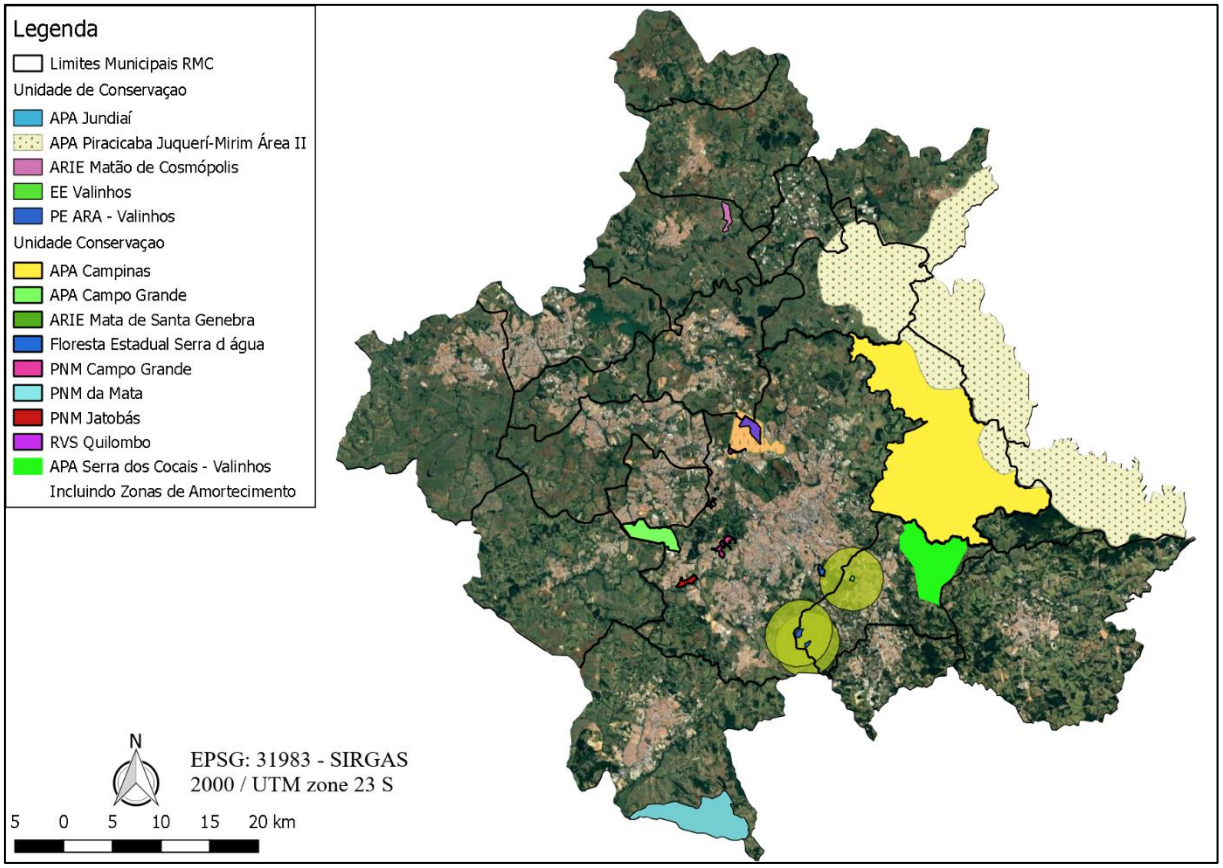
Figura 7. Área de segurança aeroportuária incidente na Região Metropolitana de Campinas



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, imagem de Satélite Google, 2020.

A região também conta com duas especificidades ambientais. A primeira, são as Unidades de Conservação estabelecidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que, a partir de seus Planos de Manejo, estabelecem restrições a atividades poluidoras dentro de seus territórios, no caso das Unidades de Conservação (UC) de Uso Sustentável, ou, em suas Zonas de Amortecimento, no caso das UC de Proteção Integral, sendo tais áreas delimitadas na **Figura 8**.

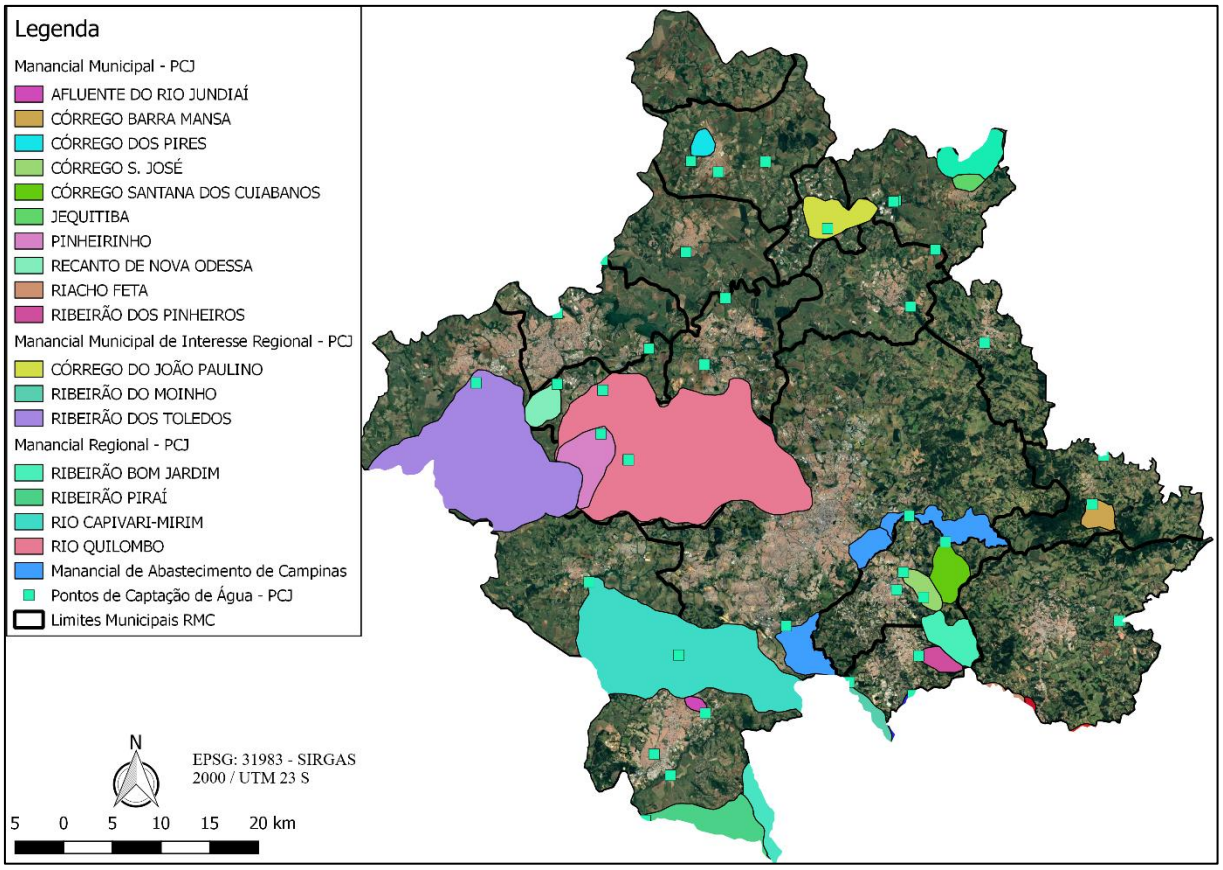
Figura 8. Unidades de conservação incidente na Região Metropolitana de Campinas



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, base Unidades de Conservação da Prefeitura Municipal de Campinas, imagem de Satélite Google, 2020.

A segunda, são os pontos de captação de água e as áreas de mananciais definidas pelo Comitê de Bacias do PCJ, **Figura 9**. Estas áreas influenciam as restrições e adequações necessárias ao processo de licenciamento ambiental para projetos com alto potencial de impacto ambiental. Estas restrições são importantes devido à fragilidade regional quanto ao abastecimento público de água onde, além da crise de abastecimento ocorrida em 2014, está a jusante do Sistema Cantareira, responsável pelo abastecimento de grande parte da Região Metropolitana de São Paulo, imprimido alta pressão ao sistema hídrico de toda bacia hidrográfica do PCJ.

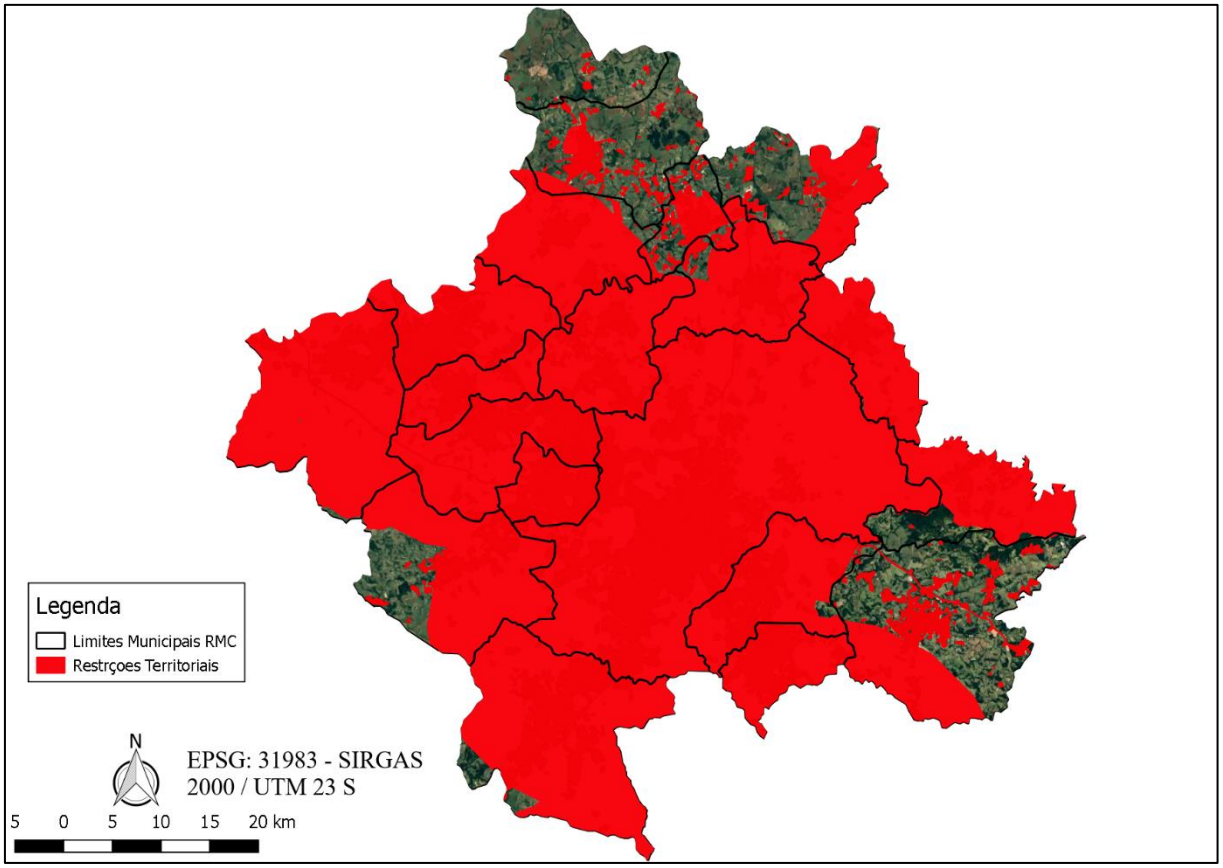
Figura 9. Área de mananciais do Comitê de Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí incidente na Região Metropolitana de Campinas



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, Mananciais do Comitê de Bacias do PCJ, imagem de Satélite Google, 2020.

A **Figura 10** apresenta a compilação de todas as restrições apresentadas. Neste, pode-se observar que a RMC possui poucas áreas que não apresentam as restrições citadas nos mapas anteriores: no extremo norte da RMC, parte das áreas rurais dos municípios de Engenheiro Coelho, Artur Nogueira e Santo Antônio de Posse apresentam característica de produção sucroalcooleira e cítrica; na região leste, parte da área rural dos municípios de Morungaba e Itatiba, há a presença expressiva de fragmentos naturais e um terreno considerado acidentado; e pequena parte oeste dos municípios de Monte Mor e Indaiatuba. Sendo assim, são poucas as áreas disponíveis para iniciar-se um processo de estudo para implantação de possíveis novos aterros sanitários na região e com menor intensidade de restrição, a implantação de grandes empreendimentos de recuperação energética, como é o caso das Usinas de Incineração.

Figura 10. Síntese das restrições territoriais incidentes na Região Metropolitana de Campinas



Fonte: Elaboração própria, Software Qgis 2.18, imagem de Satélite Google, 2020.

4.2.3. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos

Através da coleta dos dados nos Planos Municipais de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios incidentes na RMC, no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2017 do SNIS e das informações coletadas através dos questionários de triagem, foi possível estabelecer a caracterização e quantificação dos RSD dos municípios da RMC (**Quadro 6**).

Quadro 6. Dados dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	Geração de RSD em 2017 (ton)	Geração per capita em 2017 - kg/hab.dia	Índice Estimativo Cetesb, 2016	Orgânico	Reciclável	Rejeito	Coleta Seletiva (% dos recicláveis)
AMERICANA	61.538,81	0,74	0,9	63%	20%	17%	1%
ARTUR NOGUEIRA	12.242,77	0,67	0,8	45%	54%	1%	0%
CAMPINAS	315.979,19	0,75	1,1	37%	50%	13%	10%
COSMÓPOLIS	13.496,25	0,55	0,8	46%	41%	13%	0%
ENGENHEIRO COELHO	4.311,73	0,62	0,7	31%	54%	15%	0%
HOLAMBRA	3.832,55	0,77	0,7	25%	53%	22%	24%
HORTOLÂNDIA	55.464,00	0,69	0,9	62%	18%	20%	2%
INDAIATUBA	58.576,78	0,69	0,9	47%	37%	16%	3%
ITATIBA	29.859,24	0,72	0,9	66%	20%	14%	49%
JAGUARIÚNA	16.710,56	0,88	0,8	57%	38%	5%	2%
MONTE MOR	18.860,16	0,92	0,8	62%	19%	19%	1%
MORUNGABA	2.426,79	0,52	0,7	51%	22%	27%	40%
NOVA ODESSA	15.634,98	0,76	0,8	67%	18%	15%	1%
PAULÍNIA	32.493,58	0,90	0,8	37%	50%	13%	4%
PEDREIRA	11.868,31	0,72	0,8	55%	7%	38%	7%
SANTA BÁRBARA D'OESTE	53.040,84	0,78	0,9	61%	19%	20%	1%
SANTO ANTONIO DE POSSE	5.021,53	0,62	0,7	43%	38%	19%	55%
SUMARÉ	62.428,08	0,63	0,9	70%	23%	7%	0%
VALINHOS	41.640,00	0,95	0,9	50%	33%	17%	6%
VINHEDO	24.433,29	0,91	0,8	53%	37%	10%	7%
RMC	**839.859,44**	**0,75**		**49%**	**33%**	**14%**	

Fonte: Dados adaptados para o ano base (2017) dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios incidentes na RMC, o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2017 do SNIS e as informações coletadas através das Entrevistas Semiestruturadas.

Conforme é possível observar no **Quadro 6**, a geração *per capita* entre os municípios da RMC varia de 0,55 a 0,95 kg/hab.dia, valores que não seguem o Índice Estimativo do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo da Cetesb, 2016, que é relacionado ao tamanho da população. Além do Índice utilizar estimativas para RSU e o presente trabalho utilizar os valores reais dos RSD coletados durante a pesquisa, o **Quadro 6** demonstra que a geração de RSD pode estar relacionada a outros indicadores como PIB *per capita*; por exemplo, os municípios de Paulínia e Vinhedo que apresentam altas taxa de geração de RSD, baixa população e alto PIB *per capita;* os municípios Artur Nogueira, Engenheiro Coelho, Hortolândia, Indaiatuba, Santo Antônio de Posse e Sumaré apresentam geração *per capita* entre 0,62 e 0,69 kg/hab.dia com tamanho populacional, PIB *per capita*, porcentagens de participação setorial na economia e consumo *per capita* de energia diferentes entre si.

Com relação à gravimetria, é possível verificar uma grande variação entre as porcentagens dos resíduos orgânicos e recicláveis entre os municípios. Dentre eles, oito municípios apresentaram porcentagem de resíduos orgânicos abaixo dos 50%, sendo 49% o total regional. Ademais, alguns municípios apresentam altos índices de rejeitos (acima de 20%), como Holambra, Hortolândia, Morungaba, Pedreira e Santa Barbara d'Oeste.

Na região a coleta seletiva não representaram uma alta recuperação dos materiais recicláveis gerados, sendo destaque apenas os municípios de Itatiba, Morungaba e Santo Antônio de Posse, com mais de 40% de recuperação dos materiais recicláveis gerados. Resultando na recuperação de materiais recicláveis de apenas 2,85% do total dos RSD gerados na RMC em 2017, corroborando com a estimativa nacional de recuperação de materiais recicláveis no Brasil estar abaixo de 4% (ABIOGÁS, 2020b).

4.2.4. Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

Além da caracterização dos RSD, foi coletado dados de custos e modelos de gestão a partir dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios incidentes na RMC, do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2017 do SNIS e das informações coletadas através dos questionários de triagem, para um melhor entendimento da situação dos RSD nos municípios da RMC.

Quadro 7. Custos de gestão dos resíduos sólidos urbanos dos Municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	Custo de Operação em 2017	Cobrança[18]	Autossuficiência	Déficit Orçamentário (2017)
Americana	R$ 11.203.082,62	Sim	51%	R$ 5.476.066,78
Artur Nogueira	R$ 4.470.566,06	Sim	79%	R$ 940.607,10
Campinas	R$ 134.336.264,58	Sim	68%	R$ 42.960.737,41
Cosmópolis	R$ 4.858.356,17	Sim	46%	R$ 2.606.993,92
Engenheiro Coelho	R$ 2.016.933,87	Não	0%	R$ 2.016.933,87
Holambra	R$ 1.868.689,57	Sim	38%	R$ 1.153.728,94
Hortolândia	R$ 18.109.884,52	Não	0%	R$ 18.109.884,52
Indaiatuba	R$ 65.129.650,54	Sim	27%	R$ 47.668.391,23
Itatiba	R$ 8.401.160,78	Sim	0%	R$ 8.401.160,78
Jaguariúna	R$ 5.852.769,82	Sim	36%	R$ 3.768.598,49
Monte Mor	R$ 4.298.924,06	Sim	2%	R$ 4.197.899,34
Morungaba	R$ 945.991,81	Sim	19%	R$ 765.591,17
Nova Odessa	R$ 3.941.432,61	Sim	53%	R$ 1.870.603,92
Paulínia	R$ 7.078.028,14	Não	0%	R$ 7.078.028,14
Pedreira	R$ 2.639.667,93	Não	0%	R$ 2.639.667,93
Santa Bárbara d'Oeste	R$ 10.172.042,13	Não	0%	R$ 10.172.042,13
Santo Antônio de Posse	R$ 1.569.997,96	Não	0%	R$ 1.569.997,96
Sumaré	R$ 12.180.000,00	Não	0%	R$ 12.180.000,00
Valinhos	R$ 15.112.478,52	Sim	107,88% (100%)	R$ -
Vinhedo	R$ 21.259.757,33	Não	0%	R$ 21.259.757,33
RMC	**R$ 335.445.679,02**		**42%**	**R$ 194.836.690,97**

Fonte: Dados adaptados dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios incidentes na RMC, do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2017 do SNIS, e das informações coletadas através das Entrevistas Semiestruturadas e IPC-FIPE/SP.

Conforme é possível observar no **Quadro 7**, a gestão dos RSD trazem altos custos para a administração pública, e, apesar do inciso X, do Artigo 7º da PNRS: regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos

[18] Cobrança pelos serviços prestados para gestão dos RSU e limpeza urbana.

que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007; 45% dos municípios da RMC não possuem cobrança pelos serviços prestados para gestão dos RSU e limpeza urbana e outros 30% não chegam a 50% de arrecadação frente aos custos. Nota-se um caso atípico no município de Valinhos, onde a arrecadação em 2017 foi maior que os custos relacionados ao RSD.

Com autossuficiência de 42%, a RMC teve um déficit orçamentário em relação aos custos de coleta, transporte e disposição final dos RSD em 2017 de aproximadamente 195 milhões de reais.

Quadro 8. Arranjos institucionais e redes técnicas dos municípios da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	Modelo	Agente Executor (coleta e transporte)	Agente Executor (triagem materiais recicláveis)	Disposição Final
Americana	Misto	Administração Direta e Empresa Privada	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Artur Nogueira	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Campinas	Delegado	Empresa Privada	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Cosmópolis	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Engenheiro Coelho	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Holambra	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Administração Direta e ONG	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Hortolândia	Estatista	Consórcio Público (Consimares)	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Indaiatuba	Delegado	Empresa Privada	Administração Direta	Aterro Sanitário Privado Corpus - Indaiatuba

Itatiba	Delegado	Empresa Privada	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Jaguariúna	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Monte Mor	Estatista	Consórcio Público (Consimares)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado Corpus - Indaiatuba
Morungaba	Estatista	Consórcio Público (Cisbra)	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Nova Odessa	Estatista	Consórcio Público (Consimares)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Paulínia	Delegado	Empresa Privada	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Pedreira	Estatista	Administração Indireta	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Municipal SAAE - Pedreira
Santa Bárbara d'Oeste	Estatista	Consórcio Público (Consimares)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Municipal Forty - Santa Bárbara d'Oeste
Santo Antônio de Posse	Estatista	Consórcio Público (Consab)	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Sumaré	Estatista	Consórcio Público (Consimares)	Não Aplicável	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Valinhos	Delegado	Empresa Privada	Empresa Privada	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia
Vinhedo	Delegado	Empresa Privada	Cooperativa e Associação de Catadores/as	Aterro Sanitário Privado ESTRE - Paulínia

Fonte: Dados adaptados dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos, Planos dos Consórcios incidentes na RMC e das informações coletadas através das Entrevistas Semiestruturadas.

Conforme é possível observar no **Quadro 8**, 60% dos municípios da RMC utilizam o modelo estatista Consórcio Público para a gestão dos RSU e limpeza urbana, modelo este preconizado no inciso VIII, do Artigo 7º da PNRS: articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos, sendo três consórcios incidentes na RMC:

- Consórcio Intermunicipal na Área de Saneamento Ambiental (CONSAB) instituído em 31 de julho de 2009, sob a forma de associação civil de direito privado, abrangendo os municípios de Arthur Nogueira, Conchal, Cordeirópolis, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Holambra, Jaguariúna, Matão e Santo Antônio de Posse;
- Consórcio Intermunicipal de Manejo de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Campinas (CONSIMARES), fundamentado na Lei nº 11.107 de 06 de abril de 2005, sob a forma de pessoa jurídica de direito público interno, do tipo associação pública, que integra a administração indireta de todos os entes da Federação consorciados, abrangendo os municípios de Americana (até 2015), Capivari, Elias Fausto, Hortolândia, Monte Mor, Nova Odessa, Santa Bárbara d'Oeste e Sumaré;
- Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico da Região do Circuito das Águas (CISBRA), sob forma de autarquia interfederativa que integra a administração indireta de cada um dos entes federativos consorciados, fundamentado no estatuto do consórcio publicado no DOE em 27 de abril de 2011, abrangendo os municípios de Amparo, Monte Alegre do Sul, Itapira, Morungaba, Santo Antônio de Posse (até 2017), Pedra Bela, Serra Negra, Lindóia, Tuiuti, Águas de Lindóia, Socorro, Pinhalzinho e Toledo/MG.

Apesar dos Planos dos três Consórcios citados estarem previstos, nos programas e ações, a utilização de tecnologias pré-tratamento e recuperação dos RSD gerados pelos municípios de maneira coletiva, em 2017, os Consórcios ainda eram utilizados como estratégia para redução dos custos de gestão através de contratos com transportadoras e destinatários finais de maneira coletiva.

O município de Pedreira utiliza o sistema de estatista de Administração Indireta através da autarquia municipal Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Pedreira (SAAE Pedreira) e o município de Americana utiliza parcialmente o modelo estatista de Administração Direta. Os demais municípios delegam a execução da coleta e do transporte através de terceirização de empresa privada.

A destinação final dos RSD da RMC é majoritariamente em Aterro Sanitário Privado, sendo eles o Aterro Sanitário Privado ESTRE Ambiental localizado em Paulínia, onde 80% dos

municípios da RMC destinam seus RSD, e, o Aterro Sanitário Privado Corpus Obras e Saneamento Ltda. localizado em Indaiatuba, onde Indaiatuba e Monte Mor destinam seus RSD. Os municípios de Pedreira e Santa Bárbara d'Oeste destinam seus RSD em Aterro Sanitário Municipal, geridos pela SAAE Pedreira e Forty Construções e Engenharia, respectivamente. Dado preocupante de dependência de um Aterro Sanitário Privado, Estre Ambiental, que possui Licença de Operação com validade de 06/11/2023 (L.O. nº 370038 da CETESB) e uma vida útil até metade do ano de 2027.

Com relação à triagem de materiais recicláveis, mesmo que a porcentagem recuperada de materiais recicláveis não seja expressiva na RMC, conforme mostrado no item 3.3.3., observa-se a utilização do modelo delegado para Cooperativas e Associações de Catadores(as) em metade dos municípios da RMC. Sendo que 35% dos municípios não apresentaram Programa de Coleta Seletiva, havendo apenas casos de trabalhadores(as) informais.

4.2.5. Potencial de Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos

Para o cálculo do Potencial de Recuperação Energética dos RSD da RMC, utilizou-se como base o trabalho de Dalmo, *et al* (2019) baseado na metodologia IPCC (2006), que realizou o comparativo de potencial de recuperação energética para os RSU gerados nos municípios do Estado de São Paulo entre as tecnologias abordadas também no presente trabalho, assim como os dados apresentados pela ABiogás (2020), Del Alamo *et al* (2012), He *et al* (2009), e, Infiesta (2015).

Utilizando os valores de gravimetria dos RSD dos municípios da RMC, **Quadro 6**, foi possível calcular o potencial de recuperação energética a partir do biogás proveniente da disposição de RSD em aterro sanitário e da biodigestão anaeróbia da fração orgânica dos RSD, bem como a partir das tecnologias de incineração e gaseificação. Para a tecnologia de gaseificação, o potencial de recuperação energética foi calculado com as metas de recuperação de materiais recicláveis previstas para o ano de 2021 na Minuta do Termo de Compromisso para a Implementação de Ações Voltadas à Economia Circular e Logística Reversa de Embalagens em Geral, conforme **Quadro 9** (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

Quadro 9. Metas previstas de recuperação de materiais recicláveis para 2021.

Material	%
Vidro*	26,5%
Plástico	35,0%
Metal*	85,0%
Papel	60,5%

*Materiais considerados inertes.

Fonte: (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020)

Como base de cálculo, foram utilizados os dados do **Quadro 10,** onde, devido à impossibilidade de padronizar o valor de PCI para rejeitos (uma vez que ele é variável de acordo com o tempo e a localidade), foi utilizado o valor de PCI e umidade média dos demais resíduos proporcionalmente.

Quadro 10. Potencial calorífico dos resíduos sólidos urbanos

RSU	PCI (Base Úmida) MJ/kg	Umidade
Matéria Orgânica	3,16	68%
Papel e Papelão	9,16	32%
Têxteis e couro	12,90	32%
Plástico	23,04	23%
Inerte	0,00	0%
Material Reciclável Total	14,61	24%
Rejeito	7,40	52%
Total		**52%**

Fonte: Dados adaptados de Dalmo *et al* (2019).

As equações adaptadas utilizadas foram:

- Potencial energético do RSD a partir da disposição em aterro sanitário, segundo o trabalho de Dalmo, *et al* (2019) baseado na metodologia IPCC (2006):

Para o cálculo do potencial de geração de metano tem-se:

$$QCH4 = RSDt*Lo/\rho CH4 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

$$Lo=DOC*DOCf*F*(16/12) \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$DOC=\sum(DOCi*Wi) \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$DOCf=0,014*T*0,28 \quad \text{(Eq. 5)}$$

Onde:

QCH4=metano gerado (m^3CH4/ano);

RSDt=RSD total gerado no ano de 2017 (t/ano);

Lo=potencial de geração de metano (kg de CH4/kg do RSD);

ρCH4=massa específica do metano (0,715kg/Nm^3);

DOC=degradação orgânica do carbono (kg de C/kg de RSD);

DOCi=degradação orgânica do carbono por tipo de resíduos (kg de C/kg de RSD);

Wi=porcentagem do tipo de resíduos (%);

DOCf=fração de DOC dissociado (%);

T=temperatura na zona anaeróbia (35ºC);

F=fração de metano no biogás de aterro (50%);

(16/12)=fator de conversão do carbono em metano (kg de CH4/kg de C).

Para o cálculo do potencial de geração de energia tem-se:

$$Px=QCH4*PCImetano*Ec/31.536.000 \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$Pel=Px*Em \quad \text{(Eq. 7)}$$

$$E=Pel*8.000 \quad \text{(Eq. 8)}$$

Onde:

P*x* = produção de calor disponível (kW);

PCImetano = poder calorífico inferior do metano (35,530 kJ/Nm^3 de CH4);

31.536.000 =total de segundos em um ano;

E*c* = eficiência de coleta de biogás (utilizado valor calculado na UTE Guatapará em 2014) (65%);

Pel =potência elétrica disponível (kW);

Em = eficiência do motor de combustão interna (utilizado valor calculado na UTE Guatapará em 2014) (39,6%);

E= eletricidade disponível (kWh/ano);

Foram utilizados 8.000 horas anuais de uso do motor gerador, descontando horas de manutenção.

- Potencial energético a partir da biodigestão anaeróbia da fração orgânica dos RSD, segundo o trabalho de Dalmo, *et al* (2019) baseado na metodologia IPCC (2006), e dados apresentados pela Abiogás (2020):

Para o cálculo do potencial de geração de metano, segundo o trabalho de Dalmo, *et al* (2019), tem-se:

QCH4 = RSDt*MO*SV*PBM (Eq. 9)

Onde:

MO=fração de matéria orgânica no RSD (%);

SV=teor médio de sólidos voláteis (0,257 gSV/g de matéria orgânica);

PBM=potencial bioquímico de metano da matéria orgânica (277 m^3CH4/tSV).

Para o cálculo do potencial de geração de energia foram utilizadas as mesmas equações do potencial energético do RSD a partir da disposição em aterro sanitário (6, 7 e 8), porém, considerou-se a eficiência de coleta de biogás de 100%.

Para o cálculo do potencial de geração de metano, segundo dados apresentados pela Abiogás (2020), tem-se:

QCH4 = RSDt*MO*MS*f*c (Eq. 10)

Onde:

MO=fração de matéria orgânica no RSD (%);

MS=teor de matéria seca (22%);

f=fator de conversão (359 Nm^3 biogás/tMS RSU);

c=concentração de metano (50%CH4/Nm^3 biogás).

Para o cálculo do potencial de geração de energia tem-se:

$E = QCH4*Pe*Ee$ (Eq. 11)

Onde: E=eletricidade gerada (kWh/ano); Pe=potencial energético (9,97 kWh/Nm³CH4); Ee=eficiência elétrica (38%).

- Potencial energético dos RSD a partir da incineração, segundo o trabalho de Dalmo, *et al* (2019):

Para o cálculo do Poder Calorífico Inferior (PCI) tem-se:

$PCIt=\sum(f*PCIf)$ (Eq. 12)

Onde:
PCIt=PCI do RSD (MJ/kg);
f=fração gravimétrica do tipo de RSD (%);
PCIf=PCI por tipo de RSD (MJ/kg).

Para o cálculo do potencial de geração de energia tem-se,

$E=RSDt*PCIt*Et*0,28*0,913$ (Eq. 13)

Onde:
Et=eficiência térmica da planta de incineração de RSD (25%);
0,28=constante de conversão (MWh/GJ);
0,913=conversão de 8.760 horas anuais para 8.000 horas trabalhadas.

- Potencial energético dos RSD a partir da gaseificação, segundo os trabalhos de del Alamo *et al* (2012), He *et al* (2009), Infiesta (2015):

Para o cálculo do potencial de geração de syngas, tem-se

$Qsyngas = CDR*Lo$ (Eq. 14)

Onde: Qsyngas=syngas gerado (Nm^3/ano);

CDR=combustível derivado de resíduo, podendo ser considerado o rejeito gerado adicionando ou não os materiais recicláveis não recuperados (kg/ano);

Lo=potencial de geração de syngas (0,74 Nm^3 de syngas / kg do CDR).

Para o cálculo do potencial de geração de energia tem-se:

E=Qsyngas*PCIsyngas*P (Eq. 15)

Onde:

E=eletricidade gerada (kWh/ano);

P =produção de energia por unidade de syngas (0,311 kWh/Nm^3 de syngas);

PCIsyngas=poder calorífico inferior do syngas (kcal/Nm^3 de syngas).

Obs.: Foi utilizada uma média dos PCIsyngas calculada por del Dalmo *et al*, 2012 (4,34 MJ/Nm^3) e Infiesta, 2015 (1.160 kcal/Nm^3); Fator de Conversão: 1 kcal=0,004184 MJ; P=estimativa feita através dos dados calculados por del Dalmo *et al*, 2012 e Infiesta, 2015.

Como resultado, tem-se o **Anexo II** com os resultados dos cálculos por município para cada tecnologia e o **Quadro 11**, que sintetizam os resultados por tecnologia para a RMC.

Quadro 11: Potencial de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana de Campinas

Alternativa	GWh/ano	% da demanda de energia
Disposição de RSD em aterro sanitário	26	0,2
Biodigestão anaeróbia da fração orgânica do RSD (DALMO et al., 2019a) baseado na metodologia IPCC (2006)	105	0,9
Biodigestão anaeróbia da fração orgânica do RSD (ABIOGÁS, 2020a)	62	0,5
Incineração	390	3,4
Gaseificação considerando a utilização de rejeito e 62%[19] do material reciclável	204	1,8
Combinação entre Gaseificação (com rejeito e 62%[20] do material reciclável) e biodigestão anaeróbia da fração orgânica do RSD (ABIOGÁS, 2020a)[21]	266	2,3
Consumo Anual na RMC	**11.470**	

Fonte: Elaboração própria.

O **Quadro 11** mostra o potencial de geração de energia para a RMC para cada tecnologia. O fato de a gravimetria influenciar o potencial energético demonstra a maximização da recuperação energética conforme uma melhor qualidade na segregação dos RSD na entrada do sistema (coleta residencial), reduzindo o percentual de rejeito; este, sendo em boa parte uma mistura entre matéria orgânica e material reciclável, tende a assimilar os pontos negativos de cada um, apresentando por exemplo, baixo PCI em relação ao material reciclável.

O potencial de recuperação energética para a rota Disposição de RSU em aterro sanitário, considerando o cenário *business as usual*, demonstrou ser pouco atrativa comparada às outras. Na sequência, tem-se a biodigestão anaeróbia com um potencial relativamente baixo, mesmo considerando os parâmetros teóricos de Dalmo, *et al* (2019); ao se comparar os potenciais energéticos dos dois estudos (Dalmo, *et al* (2019) e ABIOGÁS (2020a)), observou-se uma redução de 41% devido à utilização de dados de experimentos em escala real. Porém, quando há combinação com outras tecnologias, apresenta melhores resultados.

A rota termoquímica incineração demonstrou ser o mais alto potencial, com 3,4% do total consumido na RMC, porém, conforme apresentado anteriormente, esta rota tecnológica

[19] Valor referente ao remanescente de material reciclável considerando o atendimento as metas previstas de recuperação de materiais recicláveis para 2021 (totalizando 38%).
[20] Valor referente ao remanescente de material reciclável considerando o atendimento as metas previstas de recuperação de materiais recicláveis para 2021 (totalizando 38%).
[21] Utilizou-se os dados da Abiogás,2020a por se tratarem de parâmetros reais e mais conservadores.

tem seu potencial no cenário *business as usual*, onde não há um tratamento dos RSD gerados com sua adequada separação e adequada recuperação de materiais recicláveis.

Considerando o cenário metropolitano (gestão mais adequada dos RSD, com sua devida separação e internalização das associações e cooperativas de catadores (as) no processo), a rota combinada entre tecnologia termoquímica e bioquímica, gaseificação (rejeitos e material reciclável não recuperado) e biodigestão anaeróbia (fração orgânica dos RSD), apresenta um potencial de 2,3% de geração de energia do total consumido na RMC, o que representa 84% do consumo anual dos serviços públicos dos municípios da RMC, no ano de 2017 (SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO, 2017). Sendo assim, tais resultados corroboram com a necessidade de sustentabilidade financeira da gestão dos RSU por parte dos municípios preconizada pela PNRS. Além de apresentar possibilidades de redução dos impactos ambientais e socioeconômicos em escala regional com a redução da destinação de RSU para aterros sanitários e com a possível produção de subprodutos fertilizantes, na rota biodigestão anaeróbia.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou as relações dos diversos fluxos e fixos de redes geográficas presentes em regiões metropolitanas que influenciam e estabelecem as redes técnicas da gestão dos resíduos sólidos urbanos, e a partir desta análise, propor modelos que possam apresentar maior alinhamento com os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Houve a intenção de realizar o diagnóstico de geração, discutir o panorama atual da gestão dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas além das redes técnicas existentes na região, onde, para o ano base de 2017, temos que a gestão dos resíduos sólidos urbanos demonstrou uma alta dependência pelo modelo de destinação final em aterros sanitários privados. Dependência esta que se agrava com o fato de os aterros sanitários utilizados estarem no final de suas vidas úteis. E, a região apresentar uma séria de restrições de cunho socioeconômico e ambiental que restringe a possibilidade de instalação de novos empreendimentos de alto impacto ambiental, como os próprios aterros sanitários e usinas de incineração. Infelizmente, este modelo de transferência de prestação de serviço para o setor privado não se estende significativamente as parcerias com associações e cooperativas de catadores (as) de materiais recicláveis, resultando em uma baixa taxa de recuperação de materiais recicláveis (2,8%).

Por mais significativo que seja a grande participação dos municípios em sistema de cooperação intermunicipal através de consórcios, os três consórcios incidentes na Região Metropolitana de Campinas, em 2017, ainda eram utilizados apenas como estratégia para redução dos custos de gestão através de contratos com transportadoras e destinatários finais de maneira coletiva.

A pluralidade dos municípios da Região Metropolitana de Campinas demonstrada pela diferença populacional, PIB *per capita* e na participação de cada setor na economia municipal resulta também nas diferenças das taxas de geração de resíduos *per capita* e na sua granulometria. Onde, apesar da média da região aproximar-se de 50% de matéria orgânica, semelhante à média nacional, algumas especificidades municipais (polo petroquímico de Paulínia, centro logístico de Indaiatuba, "cidades dormitórios" de Valinhos e Vinhedo etc.) acabam por não apresentarem a mesma lógica de geração.

Na linha do objetivo da Política Nacional de Resíduos Sólidos que estabelece a necessidade de sustentabilidade financeira na gestão dos resíduos sólidos urbanos, mais da metade dos municípios da Região Metropolitana de Campinas apresentam mecanismos de cobrança pela gestão dos resíduos sólidos urbanos e limpeza urbana, mas as dificuldades políticas de implantação da conhecida "taxa do lixo" na escola municipal acabam por resultar em apenas 42% de autossuficiência da região.

Quanto a proposta de comparar as tecnologias de recuperação energética existentes, outro importante objetivo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pode-se perceber que tecnologias com rotas termoquímicas apresentam grande potencial de recuperação energética, tendo a incineração (considerando o total dos resíduos sólidos urbanos gerados) um potencial de 390 GWh/ano e a gaseificação (considerando a utilização de rejeito e 62% do material reciclável) um potencial de 204 GWh/ano, porém a incineração apresenta uma alta demanda diária de resíduos e uma dependência de materiais com alto PCI (materiais recicláveis) o que a tornam oposta à via da recuperação de materiais recicláveis e a necessidade de altos investimentos, sendo considerada uma atividade de alto impacto, ao contrário da gaseificação que apresenta possibilidade de geração de energia associada a recuperação de materiais recicláveis, além de poder ser utilizada em pequenas plantas.

As rotas bioquímicas apresentam um menor potencial de recuperação energética, tendo a recuperação de gás de aterro sanitário um potencial de 26 GWh/ano e a biodigestão anaeróbia 62 GWh/ano, porém a utilização de aterros sanitários é o modelo menos sustentável de gestão dos resíduos sólidos uma vez que não há tratamento ou recuperação de materiais recicláveis em seu processo além da necessidade de grandes plantas com grandes impactos socioambientais.

A biodigestão anaeróbia da fração orgânica apresenta potenciais mais sustentáveis, onde a recuperação energética apenas da fração da matéria orgânica tem como subproduto fertilizantes e não concorre com a recuperação de materiais recicláveis.

Como último objetivo específico, de propor diferentes cenários de redes técnicas, analisou-se os modelos de rede técnicas reais existentes que permitiram traçar uma sugestão de rede técnica idealizada para a gestão dos resíduos sólidos urbanos dos municípios da Região Metropolitana de Campinas.

Ao traçar a rede técnica real da gestão dos RSU, pode-se entender que o poder público municipal, responsável, segundo a própria PNRS, pela gestão destes, apresentam tentativas de autossutentabilidade e melhorias na gestão através da cobrança da coleta, transporte e destinação final dos resíduos no IPTU, da associação em consórcios públicos e de parcerias com associações e cooperativas de catadores (as) de materiais recicláveis. Porém, quando do estabelecimento do cenário *business as usual*, pode-se perceber na RMC autossuficiência econômica de apenas 42%, taxa de apenas 2,8% de recuperação de materiais recicláveis, alta dependência pela destinação final de RSU em aterros sanitários privados e com apenas a possibilidade de utilização da rota tecnológica termoquímica incineração devido à falta de segregação dos RSU, rota esta que, apesar do seu alto potencial de geração de energia, caminha contrária ao que preconiza a PNRS. Este cenário também apresenta graves questões logísticas a longo prazo, visto a tendência de encerramento dos atuais aterros sanitários da região e as presentes restrições territoriais para a implantação de novos equipamentos de alto impacto como os aterros sanitários e usinas de incineração.

O cenário metropolitano se apresentou de forma promissora ao alinhamento com os objetivos da PNRS, onde, através de uma gestão dos RSU como uma função pública de interesse comum, tem-se a oportunidade de utilização das rotas biodigestão anaeróbia da fração orgânica e gaseificação associadas ao processo de recuperação dos materiais recicláveis. Este modelo apresenta maior sustentabilidade no potencial de redução dos custos no gerenciamento dos RSU através da redução dos gastos logísticos, possibilidade de implantação de equipamentos mais distribuídos regionalmente e, com impactos ambientais relativamente menores do que o cenário *business as usual*, menores investimentos pontuais e equipamentos com menores demandas diárias de RSU, dinamização da economia com a possibilidade de estruturação e formalização das associações e cooperativas de catadores (as), possibilidade de atendimento às metas previstas para recuperação de materiais recicláveis e economia nos gastos públicos no consumo energético com uma possível sustentabilidade energética dos serviços públicos municipais de 84%.

Este trabalho traz a oportunidade de um novo modelo de gestão dos RSU para regiões metropolitanas, que devido às suas características de intensa urbanização, geralmente apresentam problemas semelhantes aos da Região Metropolitana de Campinas. Mesmo que a visão deste trabalho tenha se restringido ao limite administrativo de uma região metropolitana, e, para o caso do Estado de São Paulo, com a macrometropole paulista, tem-se um processo de conurbação de regiões metropolitanas, as lições que se pode tirar é que o planejamento na escala regional para a gestão de RSU é imprescindível para o desenho de um modelo mais sustentável que atenda as premissas e objetivos da PNRS.

Com o que foi apresentado e discutido por este autor, nota-se uma oportunidade de continuidade nos estudos voltados aos custos de investimento e manutenção das tecnologias propostas e os ganhos logísticos a partir de uma melhora na distribuição dos equipamentos no território da região.

6. REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. **ABiogás**. Disponível em: <https://abiogas.org.br/>. Acesso em: 3 jun. 2020a.

ABIOGÁS. **Entidades lançam Frente Brasil de Recuperação Energética de Resíduos – ABiogás**. Disponível em: <https://abiogas.org.br/entidades-lancam-frente-brasil-de-recuperacao-energetica-de-residuos/>. Acesso em: 26 jun. 2020b.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**.

ADRIELLI DA SILVA OENNING et al. Estudo de Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Criciúma. **Revista Iniciação Científica**, v. 10, 2012.

AGÊNCIA METROPOLITANA DE CAMPINAS - AGEMCAMP. **PLANO DIRETOR DE GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS – RMC**. Campinas - SP.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **LEI Nº 12.725, DE 16 DE OUTUBRO DE 2012**, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12725.htm>. Acesso em: 21 abr. 2020

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei Complementar nº 1.234, de 13 de março de 2014 - Integra na Região Metropolitana de Campinas o Município de Morungaba**. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei.complementar/2014/lei.complementar-1234-13.03.2014.html>. Acesso em: 23 jul. 2018.

BAUMAN, Z. **Vida para consumo: A transformação das pessoas em mercadorias**. Rio de Janeiro: Editora Jorge Zahar, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017. p. 194, 2019.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.065, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 6 jun. 2018.

BRASIL. **Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 - Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências.Governo Federal**, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13089.htm>. Acesso em: 26 fev. 2019

BRASIL, B. C. DO. **BCB - Calculadora do cidadão**. Disponível em:

<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores&aba=1>. Acesso em: 1 abr. 2020.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. **Unmuddling Longitudinal Models**, v. 80, n. 9, p. 6592–6598, 2016.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil (Evolution of income and per capita generation of solid wastes in Brazil). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 171–180, jun. 2012.

CANDIANI, G.; MOREIRA, J. M. L. Avaliação dos parâmetros cinéticos da geração de metano em uma célula experimental de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 459–470, jun. 2018.

CASTRO, H. R. DE; SANTOS JÚNIOR, W. R. DOS. A expansão da macrometrópole e a criação de novas RMs: um novo rumo para a metropolização institucional no estado de São Paulo? **Cadernos Metrópole**, v. 19, n. 40, p. 703–720, dez. 2017.

CEMPRE. **Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo. Disponível em: <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. **Estado da Arte da Gaseificação - Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na região norte**. São Paulo.

CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <file:///C:/Users/AnaBeatriz/Downloads/inventario-residuos-solidos-2016. cetesb.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2019.

CHEREMISINOFF, N. P.; ROSENFELD, P. E. Sources of air emissions from pulp and paper mills. In: **Handbook of Pollution Prevention and Cleaner Production**. Elsevier, 2010. p. 179–259.

COLVERO, D. A. et al. Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 931–941, out. 2017.

COMITÊ DE VALORAÇÃO ENERGÉTICA. **Recuperação Energética - Resíduos Sólidos UrbanosABRELPE e PLASTIVIDA**. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/_download/informativo_recuperacao_energetica.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

CORRÊA, R. L. Redes geográficas: reflexões sobre um tema persistente. **Cidades**, v. 9, n. 16, p. 199–218, 2011.

COSTA, L. E. B. et al. GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMICILIARES E PERFIL SOCIOECONÔMICO NO MUNICÍPIO DE SALINAS, MINAS GERAIS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 3, n. 2, 2012.

DA PAZ, D. H. F. et al. **Inventory of methane emissions from municipal solid waste management in Pernambuco state, Brazil**. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84937922589&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=organic+OR+household+OR+municipal+AND+*waste+OR+residue+AND+energy+OR+biogas+AND+recovery&nlo=&nlr=&nls=&sid=516b4bba91be893f2f42171ef355f60e&sot=b&sd>. Acesso em: 22 fev. 2019.

DALMO, F. C. et al. Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 461–474, mar. 2019a.

DALMO, F. C. et al. Energy recovery from municipal solid waste of intermunicipal public consortia identified in São Paulo State. **Waste Management & Research**, v. 37, n. 3, p. 301–310, 26 mar. 2019b.

DE GOMES, M. B. M. et al. Life Cycle Assessment Electricity Generation from Landfill in São Paulo City. In: São Paulo. p. 632–639.

DE SOUZA, A. F.; DOLIVEIRA, P. S. **Characterization of urban solid waste in the city of presidente castelo branco - PR, Brazil**. Castelo Branco - PR. Disponível em: <https://www-scopus.ez67.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-80053982647&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=quality+OR+quantity+OR+characterisation+AND+municipal+OR+urban+OR+household+AND+solid+AND+waste+OR+residue&nlo=&nlr=&nls=&sid>. Acesso em: 13 fev. 2019.

DE SOUZA, S. N. et al. Technical potential of electricity production from municipal solid waste disposed in the biggest cities in Brazil: Landfill gas, biogas and thermal treatment. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 10, p. 1015–1023, 16 out. 2014.

DEL ALAMO, G. et al. Characterization of syngas produced from MSW gasification at commercial-scale ENERGOS Plants. **Waste Management**, v. 32, n. 10, p. 1835–1842, 1 out. 2012.

DEWAYNE, L. S. et al. A framework for conducting and evaluating research. **Journal of Accounting Literature**, v. 22, p. 130–167, 2003.

EMPLASA. **Macrometrópole Paulista**. Disponível em: <https://emplasa.sp.gov.br/MMP>. Acesso em: 21 abr. 2020.

FERREIRA, B. O. et al. Strategies for Energy Recovery and Gains Associated with the Implementation of an Extra-Dry Methanization System for Treating Organic Waste from the City of Rio De Janeiro - Brazil. **European Biomass Conference and Exhibition Proceedings**, p. 599–605, 2018.

FERREIRA, C. F. A.; JUCÁ, J. F. T. Metodologia para avaliação dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais (Methodology for assessment of consortia of municipal solid waste in Minas Gerais). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 159–31015, 2017.

FIORE, F. A. **A gestão municipal de resíduos sólidos por meio de redes técnicas**. Universidade Estadual de Campinas, 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais**. Belo Horizonte.

FUNDAÇÃO SEADE. **Perfil dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <http://www.perfil.seade.gov.br/>. Acesso em: 23 jul. 2018.

GAMBI, R. F. R. **A Gestão dos Resíduos Sólidos no Brasil: uma análise crítica das Parcerias Público-Privadas como arranjo emergente**. UNICAMP, 2018.

GIL, ANTONIO CARLOS. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo.

GOULART COELHO, L. M.; LANGE, L. C. Applying life cycle assessment to support environmentally sustainable waste management strategies in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 438–450, jan. 2018.

GRYNWALD, S. **Barreiras e facilitadores para o planejamento e implantação de usinas de recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos**. Universidade de São Paulo, 2014.

HE, M. et al. Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 1, p. 195–203, 1 jan. 2009.

HUDELSON, P. M. **Qualitative Research for Health Programmes**. Geneva: Divisil of Mental Health - World Health Organization, 1994.

INFIESTA, L. R. **Gaseificação de Resíduos Solidos Urbanos (Rsu) no Vale do Paranapanema – Projeto Civap**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/364529223/Gaseificacao-de-Residuos-Solidos-Urbanos-Rsu-No-Vale-Do-Paranapanema-Projeto-Civap-Rev04>. Acesso em: 3 jun. 2020.

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 5: Waste.

Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-032-4. 2006.

KUCZMAN, O. et al. Food waste anaerobic digestion of a popular restaurant in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 382–389, set. 2018.

LEME, M.M.V.A, ROCHA, M.H.A, LORA, E.E.S.A, VENTURINI, O.J.A, LOPES, B.M.B, FERREIRA, C. H. . Environmental assessment of energy recovery technologies for the treatment and disposal of municipal solid waste using life cycle assessment (LCA): A case study of Brazil. **PROCEEDINGS OF ECOS 2012 - THE 25TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EFFICIENCY, COST, OPTIMIZATION, SIMULATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY SYSTEMS**, fev. 2012.

LEMOS, M. C.; AGRAWAL, A. ENVIRONMENTAL GOVERNANCE. **School of Natural Resources and Environment, University of Michigan**, 2006.

LIMA, N. S. **Estudo do Tratamento Mecânico-Biológico de Resíduos Sólidos Urbanos**. Universidade de Lisboa, 2014.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Evaluation of the treatment of municipal solid waste as renewable energy resource in Campinas, Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 29, p. 19–25, out. 2018.

LOPES, E. J. et al. Evaluation of energy gain from the segregation of organic materials from municipal solid waste in gasification processes. **Renewable Energy**, v. 116, p. 623–629, fev. 2018.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. DE P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, p. 24–51, 2018.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 863–875, out. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 274, DE 30 DE ABRIL DE 2019**, 2019. Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-nº-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>. Acesso em: 7 jan. 2020

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **TERMO DE COMPROMISSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES VOLTADAS À ECONOMIA CIRCULAR E LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS EM GERAL**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>. Acesso em: 23 jun. 2020.

MIRANDA, L. H. T. G. **Aproveitamento Energético De Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo De Caso No Município De Itanhaém-Sp**. Universidade de São Paulo, 2014.

MUNIZ, R. N. **Desafios e Oportunidades para o Acesso Universal à Energia Elétrica na Amazônia**.

NÁTHIA-NEVESORCID, G. et al. Start-up phase of a two-stage anaerobic co-digestion process: hydrogen and methane production from food waste and vinasse from ethanol industry. **Biofuel Research Journal**, v. 5, n. 2, p. 813–820, 1 jun. 2018.

OLIVEIRA, T. B. DE; GALVÃO JUNIOR, A. DE C. Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 55–64, 2016.

PAVAN, M. D. C. O. **Geração de Energia a partir de Resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. Universidade de São Paulo, 2010.

PEREIRA, M. F. V. Redes, Sistemas de Transportes e as Novas Dinâmicas do Território no Período Atual: Notas sobre o Caso Brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 121–129, 2009.

PEREIRA, M. F. V.; KAHIL, S. P. O território e as redes: considerações a partir das estratégias de grandes empresas. **Geografia: ações e reflexões**, p. 213–226, 2006.

PISANI JUNIOR, R.; CASTRO, M. C. A. A. DE; COSTA, A. Á. DA. Desenvolvimento de correlação para estimativa da taxa de geração per capita de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo: influências da população, renda per capita e consumo de energia elétrica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 415–424, 2018.

REZENDE, J. H. et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 1–8, mar. 2013.

SANTOS, R. E. DOS et al. Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 198–206, fev. 2019.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. Editora da ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996.

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. **Dados Energéticos**. Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/index.html>. Acesso em: 26 jun. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. **Resolução SMA 79 de 2009**.

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE, M. A. E D. S. **Reconecta RMC**. Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/reconectaRMC.php>. Acesso em: 3

jun. 2020.

SILVA-MARTÍNEZ, R. D. et al. The state-of-the-art of organic waste to energy in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities. **Renewable Energy**, v. 156, p. 509–525, 1 ago. 2020.

SILVA, C. A. et al. **Organic fraction centesimal composition characterization of municipal solid waste from municipal landfill of santo andrÉ aiming the energy application by anaerobic digestion**. Disponível em: <https://www-scopus.ez67.periodicos.capes.gov.br/record/display.uri?eid=2-s2.0-85043790853&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=quality+OR+quantity+OR+characterisation+AND+municipal+OR+urban+OR+household+AND+solid+AND+waste+OR+residue&nlo=&nlr=&nls=&sid>. Acesso em: 13 fev. 2019.

SILVA, F. M. S. et al. Hydrogen and methane production in a two-stage anaerobic digestion system by co-digestion of food waste, sewage sludge and glycerol. **Waste Management**, v. 76, p. 339–349, jun. 2018.

SILVA, H.; BARBIERI, A. F.; MONTE-MÓR, R. L. Demografia do consumo urbano: um estudo sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares no município de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 29, n. 2, p. 421–449, dez. 2012.

SILVEIRA, R. L. L. Redes e Território: Uma breve contribuição geográfica ao debate sobre a relação sociedade e tecnologia. **Biblio 3W - Revista Bibliográfica de Geografia y Ciancias Sociales - Universidad de Barcelona**, v. VIII, 2003.

SOARES, F. R.; MIYAMARU, E. S.; MARTINS, G. Desempenho ambiental da destinação e do tratamento de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético por meio da avaliação do ciclo de vida na Central de Tratamento de Resíduos - Caieiras. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 993–1003, 2017.

TRIVINOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: Pesquisa Qualitativa em Educação**.

VERONICA POLZER. O DESAFIO DAS CIDADES: ATERRO SANITÁRIO X INCINERADOR COM GERAÇÃO DE ENERGIA (WTE). **GEO Temas**, v. 3, p. 3–19, 2013.

VIANNA, F. C. **Discussão epistemológica da produção científica brasileira em biodiesel**. Universidade de São Paulo, 2012.

WORLD BANK. **Urban Development Series - Knowledge Papers - Anexo J**. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-

1334852610766/AnnexJ.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Resources: Waste to Energy**. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER_2013_7b_Waste_to_Energy.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2019.

YIN, R. K. **The Case Study Crisis: Some AnswersAdministrative Science Quarterly**. Disponível em: <http://www.jstor.org/about/terms.html.>. Acesso em: 3 abr. 2019.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre.

ANEXO I

QUESTIONÁRIO DE TRIAGEM

1) Qual é a Pasta responsável pela gestão de RSU e Limpeza Urbana?

2) Como é a estrutura organizacional da Pasta responsável?

3) Como é feita a execução da gestão dos RSU e da Limpeza Urbana?

4) O município possui PMGIRS?

5) O município possui diagnóstico da geração de RSU? Incluindo composição gravimétrica.

6) O município é integrante de um Consórcio no tema?

ANEXO II – Quadro – Potencial de Recuperação Energética dos Resíduos Sólidos Urbanos por Município da Região Metropolitana de Campinas

Municípios	Disposição em aterro sanitário (MWh)	Biodigestão Anaeróbia - Dalmo et al, 2019 (MWh)	Biodigestão Anaeróbia - Abiogás, 2020 (MWh)	Incineração (MWh)	Incineração (MWh) - 62% de material reciclável	Gaseificação (rejeito) - (MWh)	Gaseificação (rejeito + 62% reciclável) - (MWh)
AMERICANA	2.183,27	9.850,91	5.800,37	24.106,13	19.599,90	2.407,63	16.339,75
ARTUR NOGUEIRA	347,06	1.399,84	824,25	7.343,68	4.792,87	28,18	2.277,46
CAMPINAS	8.407,19	29.706,18	17.491,46	167.011,78	129.386,13	9.453,53	71.677,79
COSMÓPOLIS	405,12	1.577,46	928,83	7.250,24	5.122,16	403,78	3.167,76
ENGENHEIRO COELHO	111,26	339,63	199,98	2.749,76	1.844,70	148,85	989,82
HOLAMBRA	87,89	243,45	143,35	1.774,90	1.696,83	194,05	966,61
HORTOLÂNDIA	1.969,04	8.737,55	5.144,80	21.249,20	17.724,31	2.552,90	15.341,25
INDAIATUBA	1.786,05	6.995,36	4.118,98	29.293,08	21.905,21	2.156,94	14.500,23
ITATIBA	1.032,88	5.007,37	2.948,41	7.938,48	8.628,47	962,05	7.498,44
JAGUARIÚNA	538,84	2.420,21	1.425,06	8.067,87	5.822,03	192,29	3.550,29
MONTE MOR	667,88	2.971,14	1.749,46	7.354,63	6.042,12	824,69	5.141,54
MORUNGABA	77,14	314,48	185,17	783,30	843,76	150,80	713,13
NOVA ODESSA	569,68	2.661,70	1.567,25	5.815,81	4.787,63	539,74	4.081,49
PAULÍNIA	879,08	3.054,82	1.798,73	18.608,93	13.305,36	972,15	7.370,95
PEDREIRA	420,95	1.658,59	976,60	4.151,64	3.910,70	1.037,92	4.061,32
SANTA BÁRBARA D'OESTE	1.868,65	8.221,04	4.840,68	20.826,92	17.133,91	2.441,36	14.624,63
SANTO ANTONIO DE POSSE	134,07	548,64	323,05	1.335,99	1.618,39	219,57	1.210,85
SUMARÉ	2.274,65	11.103,62	6.537,98	24.300,31	18.870,04	1.005,70	14.470,56
VALINHOS	1.305,98	5.290,14	3.114,92	19.224,48	15.118,18	1.629,12	10.582,82
VINHEDO	766,23	3.290,37	1.937,42	11.320,23	8.751,27	562,31	5.592,35
RMC	**25.832,91**	**105.392,50**	**62.056,74**	**390.507,35**	**306.903,96**	**27.883,54**	**204.159,05**

Fonte: Elaboração própria.