UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
RENATO AUGUSTO PENNA DALLORA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE
SÃO PAULO. ESTUDO DE CASO: SUB-REGIÃO SUDESTE

SÃO PAULO
2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
RENATO AUGUSTO PENNA DALLORA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE
SÃO PAULO. ESTUDO DE CASO: SUB-REGIÃO SUDESTE

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do Título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração: Engenharia de
Construção Civil e Urbana

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karin Regina de
Castro Marins

SÃO PAULO
2019

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: Renata Dallora

Assinatura do orientador: _____

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.

Catálogo-na-publicação

Penna Dallora, Renato Augusto

Avaliação do potencial de integração da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo. Estudo de caso: sub-região Sudeste / R. A. Penna Dallora -- versão corr. -- São Paulo, 2019.
179 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Resíduos Sólidos Urbanos 2. Governança Metropolitana 3. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos 4. Planejamento intermunicipal 5. Região Metropolitana de São Paulo.

“Do ponto de vista do planeta, não existe jogar lixo fora,
porque não existe fora”
Autor Desconhecido

“O custo do cuidado é sempre menor que o custo do reparo”
Marina Silva

AGRADECIMENTOS

A realização dessa dissertação consistiu em momentos de entrega, perseverança e dedicação. Por trás das palavras aqui escritas, pessoas maravilhosas que admiro muito estavam ao meu lado, incentivando-me a escrever um trabalho de qualidade e relevante para a sociedade.

Agradeço à orientadora Prof. Dr^a Karin Regina de Castro Marins, pela dedicação, apontamentos certos e, principalmente, pela confiança. Seus conselhos e revisões foram fundamentais para o bom desenvolvimento do trabalho.

À Prof. Dr^a Wanda Maria Risso Günther, por ter sido ótima professora e ter enriquecido o trabalho com suas contribuições.

Ao Eng. Dr. Marcos Camargo Campagnone, por compartilhar seu conhecimento e contribuir com o desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores Dr. Ednilson Viana e Dr. Ronan Contrera por terem compartilhado experiências e terem me acompanhado em momentos em que precisei.

Aos servidores públicos e colegas de trabalho, Thaner Nogueira, Adriele Santos e Renato Mello, por terem acompanhado o processo de realização da dissertação.

Aos meus pais, Ana e Paulo, que sempre apoiaram minhas decisões, estiveram ao meu lado e se dedicaram muito à educação dos filhos.

À Mayumi, minha companheira, que nunca imaginou que fosse discutir tanto sobre resíduos e esteve ao meu lado todos os dias, me incentivando e auxiliando a manter o foco. Assim como aos meus sogros, Luiza e Luiz, que me aconselharam durante todo o processo.

Aos amigos e companheiros de pesquisa, Ricardo Tierno, Rafael Castelo, Martina Pacifici e Carolina Girotti, pelas trocas de experiência e amizade.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior), pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa, por meio da concessão de bolsa de estudo durante um período do Mestrado.

RESUMO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é uma das dez maiores regiões metropolitanas do mundo e a maior do Brasil. Cerca de vinte mil toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são gerados diariamente na região, sendo dispostos em aterros distantes dos centros urbanos. Nesse contexto, o planejamento intermunicipal tornou-se essencial para integrar os sistemas de gestão de RSU e fomentar iniciativas regionais de valorização dos resíduos. O objetivo dessa pesquisa foi realizar o diagnóstico da gestão de RSU dos municípios que constituem a RSMP e avaliar potenciais formas de integração da gestão de RSU no âmbito da sub-região Sudeste da RMSP, constituída pelos municípios Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. Como método, realizou-se pesquisa bibliográfica sobre planejamento e gestão de RSU, Regiões Metropolitanas, governança metropolitana, RMSP, assim como a investigação de modelos e seleção de um modelo matemático (*System Dynamics*), aplicado na avaliação técnica e econômica de potenciais formas de integração da gestão de RSU na sub-região Sudeste da RMSP. Como resultado, mostrou-se, de forma quantificada, que não beneficiar os RSU gerados na sub-região e manter a reciclagem incipiente dos municípios, em longo prazo, perpetua a lógica de encontrar novos locais para a disposição dos resíduos em aterros. Por outro lado, a cooperação intermunicipal para a viabilização de usinas de tratamento de RSU mostrou-se eficaz na redução dos resíduos que vão para disposição final. Já a reciclagem não se configurou uma solução eficaz no âmbito regional segundo as condições de contorno consideradas, pois depende da coleta seletiva eficiente, que, por sua vez, prescinde de maior conscientização ambiental e adesão por parte da população. Verificou-se, ainda, que municípios com geração similar de RSU possuem melhor potencial de integração e podem viabilizar novas infraestruturas regionais em consórcios exclusivos para a gestão dos RSU.

Palavras Chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos; Governança Metropolitana; Planejamento intermunicipal; Região Metropolitana de São Paulo.

ABSTRACT

The Metropolitan Region of São Paulo (MRSP) is one of the ten largest metropolitan regions in the world and the largest in Brazil. Around 20,000 tons of Municipal Solid Waste (MSW) are generated daily in the region, being disposed in landfills far from urban centers. In this context, inter-municipal planning has become essential for integrating MSW management systems and promoting regional valorization initiatives. The objective of this research was to perform a diagnosis of the management of MSW in the municipalities which are included in the Metropolitan Region of São Paulo and evaluate potential forms of integrating MSW management in the Southeast sub-region of MRSP, constituted by the municipalities of Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo and São Caetano do Sul. As method, a bibliographic research was carried out on planning and management of municipal solid waste, metropolitan regions, metropolitan governance, MRSP, as well as the investigation of models and selection of a mathematical model (System Dynamics), applied in the technical and economic evaluation of potential ways of integrating MSW management in the Southeast sub-region of MRSP. Results showed, in a quantified way, that not benefiting the MSW generated in the sub-region and maintaining the incipient recycling of the municipalities, in the long term, perpetuates the logic of finding new places for waste disposal in landfills. On the other hand, the inter-municipal cooperation for the feasibility of MSW treatment plants proved to be effective in reducing waste that goes to final disposal. Recycling did not provide an effective solution at the regional level according to the boundary conditions considered, because it depends much on efficient selective collection, which, in turn, depends on environmental awareness and population adherence. It was also verified that municipalities with a similar generation of MSW have a better integration potential and can make possible new regional infrastructures in exclusive consortia for the MSW management.

Keywords: Municipal Solid Waste; Municipal Solid Waste Management; Metropolitan Governance; Intermunicipal planning; Metropolitan Region of São Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da coleta de RSU no Brasil e em outras regiões entre os anos de 2008 e 2015	3
Figura 2 – Evolução do número de municípios existentes no Brasil entre 1940 e 2010	14
Figura 3 – Evolução do número de unidades regionalizadas criadas entre 1973 a 2015	16
Figura 4 – Tamanho populacional das Regiões Metropolitanas levantadas pelo Censo 2010 do IBGE	17
Figura 5 – <i>Framework</i> de análise da Gestão Integrada Sustentável de Resíduos Sólidos	27
Figura 6 – Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo	32
Figura 7 – Macrometrópole Paulista composta por cinco regiões metropolitanas....	32
Figura 8 – Mapa das sub-regiões constituintes da Região Metropolitana de São Paulo	33
Figura 9 – Representação do IQR dos municípios constituintes da Bacia do Alto Tietê, em anos selecionados, de 2007 a 2017	35
Figura 10 – Mapa com locais de disposição final utilizados pelos municípios da RMSP, com exceção apenas do aterro privado localizado em Rio das Pedras	37
Figura 11 – Macrozoneamento apresentado no caderno de propostas do PDUI da RMSP	40
Figura 12 – Mapa com fluxos dos RSU dos municípios da RMSP no ano de 2015	41
Figura 13 – Mapa da RMSP e municípios vizinhos, com os fluxos de RSU de 2017 dos municípios externos à RMSP que foram destinados para dentro da região	42
Figura 14 – Mapa da RMSP com a representação dos municípios que, em 2016, possuíam taxa de cobrança municipal pelos serviços de gestão de RSU	45

Figura 15 – Porcentagem de autofinanciamento dos municípios das RMSP que possuem instrumentos de cobrança pelos serviços prestados relacionados a RSU.	46
Figura 16 – Despesa <i>per capita</i> com Gestão de RSU em relação à população urbana (R\$/hab) referente ao ano de 2016	48
Figura 17 – Sistema de Planejamento e Gestão Metropolitano criado para a RMSP	58
Figura 18 – Infraestruturas de destinação e tratamento de RSU presentes nos municípios que compõem a sub-região Sudeste da RMSP	62
Figura 19 – Quantidade de RSU gerados pelos municípios da sub-região Sudeste em 2015 (ton/dia) e comparação entre municípios	63
Figura 20 – Acompanhamento do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) para o aterro de Santo André entre os anos de 2003 e 2017	64
Figura 21 – Acompanhamento do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) para o aterro Lara Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Ltda. entre os anos de 2003 e 2017	65
Figura 22 – Aterro Sanitário Lara Central de Triagem localizado no Município de Mauá	66
Figura 23 – Aterro Sanitário municipal de Santo André, CTR, localizado próximo às zonas urbanas.....	66
Figura 24 – Aterros Sanitários de Santo André (CRT) e de Mauá (Lara), delineados em vermelho, próximos a zonas urbanas e áreas de proteção ambiental	67
Figura 25 – Sistematização dos caminhos possíveis dos resíduos sólidos, segundo as possibilidades previstas no sistema de gestão de RSU modelado.....	83
Figura 26 – Composição da variável C_i relacionada aos custos do sistema.....	84
Figura 27 – Composição da variável B_i relacionada às receitas do sistema.....	84
Figura 28 – Análise de sensibilidade da alteração dos custos de operação dos aterros	84

Figura 29 – Condados localizados no Texas que desejam investigar a gestão integrada de seus RSU	86
Figura 30 – Roteirização otimizada dos RSU gerados nos condados de Willacy, Hidalgo e Cameron, para cenário base	87
Figura 31 – Roteirização otimizada dos RSU gerados nos condados de Willacy, Hidalgo e Cameron, para o segundo cenário	87
Figura 32 – Análise de custo-benefício para o cenário base	88
Figura 33 – Análise de custo-benefício para o cenário em que os custos de transporte de RSU para aterro se elevam gradativamente	88
Figura 34 – Modelo Multi-Dimensional	89
Figura 35 – Modelo aplicado para as 22 subdivisões distritais da RM do Teerã	91
Figura 36 – Cenários criados a partir dos cenários ótimos 1 e 2	92
Figura 37 – Região modelada para entender efeitos ambientais de diferentes sistemas na gestão integrada de RSU	95
Figura 38 – Cenários delineados para a gestão integrada de RSU da região leste do Estado de São Paulo	96
Figura 39 – Quantidade de MTCO _{2e} emitidos no período de 15 anos para cada cenário proposto	97
Figura 40 – Quantidade de BTU gastos no período de 15 anos para cada cenário proposto	97
Figura 41 – Elementos de <i>System Dynamics</i> (SD) utilizando o <i>software</i> Vensim	98
Figura 42 – Elementos de <i>System Dynamics</i> (SD) utilizando o <i>software</i> Stella	98
Figura 43 – Estrutura do modelo de um Sistema de Gestão Integrado de RSU proposta por Simonetto e Löbler (2014) para uma cidade no sul do Brasil	100
Figura 44 – Simulação da quantidade de área de aterro sanitário utilizada no tempo	102

Figura 45 – Estrutura base criada, com o <i>software</i> Stella, para cada um dos municípios da sub-região Sudeste da RSMP	108
Figura 46 – Modelagem da geração de resíduos sólidos urbanos para cada município	110
Figura 47 – Modelagem da destinação dos RSU do município para reciclagem....	111
Figura 48 – Modelagem da destinação dos RSU do município para infraestrutura de tratamento	111
Figura 49 – Modelagem da destinação dos RSU do município para disposição em aterro sanitário	112
Figura 50 – Modelagem dos custos com reciclagem, que se repete para cada município.....	113
Figura 51 – Modelagem dos custos com tratamento, que se repete para cada município.....	113
Figura 52 – Modelagem dos custos com disposição, que se repete para cada município.....	113
Figura 53 – Modelagem dos custos total que se repete para cada município	113
Figura 54 – Somatória da geração total de RSU para a sub-região Sudeste.....	114
Figura 55 – Somatória do custo total do sistema da sub-região Sudeste.....	114
Figura 56 – Modelagem da somatória da geração regional de cada fração destinada de RSU.....	115
Figura 57 – Modelagem da somatória regional dos custos para cada uma das diferentes formas de destinação	116
Figura 58 – Modelo completo para a sub-região Sudeste da RMSP.....	117
Figura 59 – Diferentes configurações utilizadas para analisar o potencial de integração da prestação de serviços de RSU	118
Figura 60 – Operacionalização da Configuração 1.....	119
Figura 61 – Operacionalização da Configuração 2.....	122

Figura 62 – Operacionalização da configuração 3	124
Figura 63 – Total estimado da geração de RSU de cada município da sub-região Sudeste da RMSP, de 2015 a 2035, com base nas simulações realizadas.....	128
Figura 64 – Estimativa da porcentagem da contribuição de cada município na geração total de RSU para o período de simulação	129
Figura 65 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 1, de 2015 a 2035	130
Figura 66 – Estimativa da quantidade total de RSU destinados para reciclagem e disposição em aterro de cada município após a simulação para a configuração 1, de 2015 a 2035	130
Figura 67 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 2, de 2015 a 2035	131
Figura 68 – Estimativa da quantidade total de RSU destinados para tratamento, reciclagem e disposição em aterro de cada município após a simulação para a configuração 2, de 2015 a 2035.....	133
Figura 69 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 3, de 2015 a 2035	134
Figura 70 – Comparação entre as configurações 2 e 3 das taxas de destinação de RSU somadas dos municípios Diadema, Rio Grande da Serra e São Caetano do Sul	135
Figura 71 – Estimativa das taxas de destinação de RSU ao longo do período de 20 anos de simulação para as configurações 2 e 3	135
Figura 72 – Estimativa da quantidade acumulada no tempo de RSU que são encaminhados para o aterro municipal de Santo André, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035.....	136

Figura 73 – Estimativa da quantidade acumulada de RSU que são encaminhados para o aterro Lara considerando que todos os municípios da sub-região Sudeste utilizem tal aterro, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035	137
Figura 74 – Estimativa da quantidade acumulada de RSU que são encaminhados para o aterro Lara, considerando que Santo André não utilize tal aterro, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035	137
Figura 75 – Estimativas dos custos totais de operação do sistema para cada uma das configurações	138
Figura 76 – Estimativas das incidências de cada uma das formas de destinação no custo total de operação	139
Figura 77 – Estimativas das taxas de destinação de RSU para cada configuração simulada entre 2015 e 2035	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Planos Metropolitanos de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos disponíveis <i>online</i>	29
Quadro 2 – Lista dos aterros sanitários que são utilizados pelos municípios da RMSP	38
Quadro 3 – Critérios técnicos para a seleção de área ideal para a implantação de aterros sanitários.....	39
Quadro 4 – Municípios da RMSP com Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborados em 2013 e 2016	51
Quadro 5 – Municípios da RMSP que utilizaram recursos federais para a elaboração de infraestrutura relacionada a gestão de resíduos sólidos entre os anos de 2012 e 2016	52
Quadro 6 – Consórcios intermunicipais existentes nas sub-regiões da RMSP com seus respectivos anos de criação	53
Quadro 7 – Ações Estratégicas referentes à gestão regionalizada de RSU para a RMSP	56
Quadro 8 – Leis que institucionalizam a cobrança da taxa de coleta e transporte de RSU dos municípios da sub-região Sudeste da RMSP que possuem tal instrumento de cobrança.....	74
Quadro 9 – Formas de cálculo da taxa de coleta e destinação de RSU dos municípios da sub-região Sudeste da RMSP que possuem tal instrumento de cobrança	75
Quadro 10 – Modelos e ferramentas de apoio à análise de sistemas de gestão de RSU.....	78
Quadro 11 – Revisão bibliográfica de modelagem para sistemas de gestão de RSU	80
Quadro 12 – Caminho da modelagem proposta pelos autores	94
Quadro 13 – Resumo dos modelos revisados e analisados.....	105

Quadro 14 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 1	120
Quadro 15 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 2	123
Quadro 16 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 3	124
Quadro 17 – Resumo dos parâmetros fixos utilizados na simulação da sub-região Sudeste	126
Quadro 18 – Resultados das quantidades destinadas para disposição, reciclagem e tratamento, em valores brutos, para as três configurações propostas, após simulação para o período entre 2015 a 2035	126
Quadro 19 – Resultados das taxas de disposição, reciclagem e tratamento, em porcentagem, para as três configurações propostas, após simulação para o período entre 2015 a 2035	126
Quadro 20 – Resultados acumulados das três configurações propostas após simulação para o período entre 2015 a 2035	127
Quadro 21 – Estimativa da evolução da geração <i>per capita</i> de RSU para os municípios da sub-região Sudeste, entre 2015 e 2035, com base nas simulações realizadas	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública Empresarial
ACB	Análise de Custo-Benefício
ACV	Análise de Ciclo de Vida
APRM-B	Área de Proteção e Recuperação de Mananciais da represa Billings
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CDR	Centro de Disposição de Resíduos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIMBAJU	Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Bacia do Juqueri
CIOESTE	Consórcio Intermunicipal da Região Oeste Metropolitana de São Paulo
CONDEMAT	Consórcio de Desenvolvimento dos Municípios do Alto Tietê
CONISUD	Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
FATEC	Faculdade de Tecnologia
FECOP	Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FNDUI	Fundo Nacional de Desenvolvimento Urbano Integrado
FPIC	Função Pública de Interesse Comum
GEE	Gás de Efeito Estufa
IAB	Instituto de Arquitetos do Brasil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
II PND	II Plano Nacional de Desenvolvimento
III PND	III Plano Nacional de Desenvolvimento
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IQC	Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem
IQR	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
IQR-Valas	Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos em Valas
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias

LOA	Lei Orçamentária Anual
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MO	Modelo de Otimização
MP	Modelo de Previsão
MS	Modelagem por Simulação
MSI	Modelagem de Sistemas Integrados
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDUI	Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado
PEs	Propostas Estruturantes
PEVs	Pontos de Entrega Voluntária
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPA	Plano Plurianual
PPP	Parceria Público-Privada
PRGIRS-ABC	Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC
RCC	Resíduos de Construção Civil
RLU	Resíduos de Limpeza Urbana
RM	Região Metropolitana
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SD	System Dynamics
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações de Saneamento
SPAR-TMB	Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos com implantação de Tratamento Mecânico-Biológico
SPAR-URE	Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação de Energia
STF	Supremo Tribunal Federal
TAC	Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta

USEPA	United States Environmental Protection Agency
WARM	Waste Reduction Model
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	8
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	9
4	CONTEXTO METROPOLITANO BRASILEIRO	12
4.1	GESTÃO E GOVERNANÇA METROPOLITANA	12
4.2	DESAFIOS DA GESTÃO INTEGRADA DE RSU NO CONTEXTO METROPOLITANO.....	25
5	POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE RSU NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	32
5.1	DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RSU NA RMSP	32
5.1.1	ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA DA GESTÃO DE RSU NA RMSP	34
5.1.2	GOVERNANÇA DOS RSU NA RMSP.....	45
5.2	DEFINIÇÃO PELA ANÁLISE SUBREGIONALIZADA.....	60
5.3	DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP	62
5.3.1	ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA DA GESTÃO DE RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE	62
5.3.2	GOVERNANÇA DOS RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE.....	68
6	MODELAGEM DA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP.....	76
6.1	REVISÃO E INVESTIGAÇÃO DE MODELOS.....	80
6.1.1	MODELAGEM DE OTIMIZAÇÃO COM PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	82
6.1.2	MODELAGEM DE SISTEMAS INTEGRADOS.....	89
6.1.3	MODELAGEM POR SIMULAÇÃO.....	93
6.1.4	MODELAGEM POR SYSTEM DYNAMICS	98
6.2	SELEÇÃO DO MODELO A SER APLICADO NA SUB-REGIÃO SUDESTE	103

6.3	APLICAÇÃO DO MODELO SELECIONADO NA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP	106
6.3.1	GERAÇÃO DE RSU	109
6.3.2	DESTINAÇÃO PARA: RECICLAGEM, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL	110
6.3.3	CUSTOS DO SISTEMA DE GESTÃO DE RSU	112
6.3.4	ESTRUTURA REGIONAL	114
6.4	DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS	118
6.4.1	CONFIGURAÇÃO 1.....	119
6.4.2	CONFIGURAÇÃO 2.....	121
6.4.3	CONFIGURAÇÃO 3.....	124
6.4.4	PARÂMETROS FIXOS	125
6.5	RESUMO DOS RESULTADOS	126
7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	128
8	CONCLUSÕES	144
9	RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA	147
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos consolidou-se como uma temática imprescindível na discussão dos processos de urbanização. Isso é válido tanto no âmbito mundial quanto nacional, devido à elevação da produção e do consumo, em padrões hoje considerados insustentáveis. A existência de grandes polos geradores de resíduos sólidos, aglomerados em centros urbanos, acarreta em impactos ambientais e de saúde que precisam ser mitigados. E a gestão correta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem alta complexidade interdisciplinar, tangenciando as dimensões sociais, econômicas e ambientais, sendo um importante condicionante na busca da sustentabilidade urbana.

O modelo brasileiro empregado no último século para a resolução dessa problemática foi baseado na concentração da disposição de resíduos em terrenos afastados dos grandes centros geradores de resíduos. Quando sem controle, essas áreas são conhecidas como “lixões” e ocasionam a disposição final ambientalmente inadequada. Ou seja, a gestão tem ocorrido, tradicionalmente, em um processo linear de geração, coleta, transporte e disposição final, tendo como consequências, segundo Besen (2011), a contaminação do solo, poluição dos cursos d’água, do ar e riscos à saúde dos trabalhadores no local, dentre outros.

A substituição de “lixões” e aterros controlados por aterros sanitários tornou-se obrigatória a partir da Lei Federal nº 12.305, de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Apesar da obrigatoriedade, a implantação de tais aterros tornou-se onerosa e inviável economicamente para a maioria dos municípios de pequeno porte. Em 2016, após seis anos da PNRS, 41,3% dos municípios brasileiros ainda destinaram seus Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) a locais considerados inadequados (ABRELPE, 2017). Isso representou a disposição ambientalmente incorreta de aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos no ano de 2016 (ABRELPE, 2017).

Para que os municípios dependam menos dos aterros sanitários e reduzam os impactos ambientais e sanitários decorrentes da produção e gestão de resíduos sólidos urbanos, outras formas de destinação são incentivadas pela PNRS. Primeiramente, a lei estabelece a priorização da não geração, redução e reutilização. Outra diretriz da PNRS consiste em estabelecer que apenas os resíduos que não

podem ser valorizados e tratados devam ser destinados a aterros sanitários, ou seja, apenas os rejeitos. E a principal forma de valorização apresentada na PNRS é a reciclagem. O incentivo à reciclagem visa ao reaproveitamento de materiais que possuam valor agregado, assim como à ampliação da vida útil dos aterros, ao reduzir o volume de resíduos destinados a estas estruturas. Além disso, a reciclagem no Brasil também desempenha importante papel social ao incluir a participação de organizações de catadores de resíduos recicláveis na cadeia produtiva.

Porém, apesar dos esforços da PNRS para aumentar a reciclagem dos RSU nos municípios, o panorama brasileiro ainda é alarmante. Em 2016, 30,4% dos municípios ainda não haviam implantado qualquer sistema de coleta de resíduos recicláveis, sendo que a maioria dos demais municípios apresentaram programas de coleta seletiva incipientes (ABRELPE, 2017). Segundo dado do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), os municípios brasileiros desviaram para reciclagem, em média, apenas 2,1% dos RSU totais gerados em 2016 (SNIS, 2018), valor muito abaixo do potencial total de reciclagem. Segundo o último levantamento da composição gravimétrica dos RSU brasileiros, a fração de recicláveis dos RSU totais gerados corresponde a 41,5% (BRASIL, 2012). Considerando este o potencial total de reciclagem dos RSU pelos municípios brasileiros, fica clara a ineficiência hoje presente dos sistemas de valorização dos resíduos por reciclagem.

Outro ponto sensível consiste no aumento drástico da geração de RSU nos últimos anos no Brasil (Figura 1). Em 8 anos, entre 2008 e 2015, houve aumento de 23,5% na quantidade de RSU coletados diariamente, passando de 150 para cerca de 200 mil ton/dia (ABRELPE, 2008; 2015). É importante ressaltar que esse aumento não é devido à expansão da cobertura do sistema de coleta de RSU nos municípios, que teve acréscimo de apenas 1,17% no período (ABRELPE, 2008; 2015). O aumento populacional no país, nesse mesmo período, de 7%, contribuiu com tal aumento de geração *per capita* de RSU (IBGE, 2017). Porém o principal fator do aumento da geração decorreu do incremento considerável do consumo *per capita*. Por consequência, incorre na degradação ambiental nos municípios que não apresentam sistemas de gestão de RSU adequados e implica em complicações de ordem econômica e operacional nos sistemas já consolidados, que não previram ou planejaram tal aumento.

Figura 1 – Evolução da coleta de RSU no Brasil e em outras regiões entre os anos de 2008 e 2015

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de relatórios da Abrelpe (2008 a 2015)

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os desafios da gestão dos resíduos sólidos urbanos não são diferentes daqueles apontados para o cenário brasileiro. Existem 10 aterros sanitários localizados na RMSP, sendo 4 públicos e 6 particulares (CETESB, 2018). Os quatro aterros públicos recebem apenas os resíduos dos municípios onde estes estão localizados. São eles: Embu das Artes, Guararema, Guarulhos e Santo André. Por outro lado, os aterros particulares são poucos, distantes dos centros urbanos e centralizaram, em 2017, o recebimento de RSU de muitos municípios:

- Por exemplo, o aterro particular localizado em Caieiras recebe resíduos de 11 municípios da RMSP, além de mais 7 outros municípios destinarem para tal aterro (CETESB, 2018), centralizando a disposição, portanto, de 18 municípios;
- O aterro particular localizado em Mauá também recebe resíduos de 9 municípios, sendo 7 de dentro da RMSP (CETESB, 2018). Inclusive Itanhaém também destina seus resíduos para Mauá, mesmo estando localizado a 100km de distância;
- O município de Embu das Artes ainda não solucionou a questão da disposição ambientalmente correta dos RSU, dispondo seus resíduos em lixão (CETESB, 2018). E Juquitiba ainda possuía lixão ativo até 2016 (CETESB, 2017).

A destinação dos RSU gerados na RMSP é principalmente direcionada para aterros sanitários, com baixas taxas de desvio para outras formas de valorização, como a reciclagem. Em 2013, trinta municípios da RMSP alegaram possuir programas de coleta seletiva, sendo que em doze eram apenas projetos-pilotos de pequena escala e, em seis municípios, atendia-se menos de 50% dos domicílios (BESEN *et al.*, 2014).

Além disso, das 21 mil ton/dia de RSU coletados na RMSP, em 2012, apenas 3,8% dessa massa foi reciclada, ou seja, desviada dos aterros sanitários (BESEN *et al.*, 2014). Em relação ao crescimento da geração de RSU, sabe-se que, em 1994, a RMSP gerava em torno de 10.635 ton/dia (NETO; GUIMARÃES, 2000) e, em 2015, passou a ser de 18.679 ton/dia (SNIS, 2017), ou seja, houve aumento de cerca de 76% na geração de RSU nesse período. O aumento constante da geração agrava ainda mais os problemas regionais, aumentando custos e sobrecarregando a operação do sistema.

Essa quantidade enorme de RSU gerados na RMSP, em uma área geográfica urbanizada relativamente pequena, impacta na seleção do sistema de gestão e no planejamento urbano. Com a expansão das cidades, ocorre a urbanização ao redor dos aterros sanitários implantados próximos aos núcleos urbanos, impactando no tráfego local, na poluição sonora, na impossibilidade de ampliação do aterro e em riscos à saúde dos habitantes locais. E como são muitas as exigências para a seleção de um terreno onde será implantado um novo aterro, as áreas possíveis são escassas e muito afastadas dos centros urbanos, aumentando os custos de coleta e destinação.

Assim, estabelecer um sistema de gestão e processos de governança mais adequados para a RMSP, que minimizem os impactos ambientais, sejam economicamente otimizados, valorizem as questões sociais e, principalmente, possam ser planejados e operacionalizados de forma compartilhada entre os municípios, é um desafio extremamente complexo. Por um lado, a conurbação dos municípios vizinhos é um incentivo às soluções regionalizadas e otimizadas. Pode-se pensar na prestação de serviços em consórcios regionais para a coleta de resíduos domiciliares e resíduos recicláveis, na regionalização da operação de transbordos ou pontos de entrega voluntária (PEVs) e em investimentos conjuntos entre municípios para a implantação de usinas de reciclagem, entre outras infraestruturas urbanas. Por outro lado, por existirem diversas possibilidades de integração entre os sistemas regionalizados e pela dependência de estruturas de governança regionalizadas ainda em construção, as opções podem ser interpretadas sob diferentes perspectivas, sendo elas técnicas, ambientais, econômicas e políticas. Onde cada opção apresenta consequências que devem ser individualmente avaliadas e conjuntamente comparadas. Seguem alguns exemplos da complexidade envolvida na seleção entre possíveis opções de modelos de gestão de RSU:

- Continuar afastando os resíduos das cidades, destinando os RSU para aterros sanitários em outros municípios e externalizando os impactos ambientais. Porém, ampliam-se os problemas regionais e sistêmicos, ao se fomentar a dependência por áreas de disposição final cada vez mais distantes e escassas;
- Fomentar a reciclagem, porém esta é dificultada pela necessidade de se viabilizar grandes estruturas recicladoras e alterar aspectos culturais que conduzem à não segregação dos resíduos recicláveis na fonte geradora;
- Promover a inclusão social em iniciativas que demoram a amadurecer e que constituem processos com baixa eficiência, o que é contraditório à necessidade urgente de se reduzir a destinação dos RSU para aterros sanitários;
- Viabilizar a gestão integrada intermunicipal em contextos onde há assimetria orçamentária entre os entes envolvidos e disputa de prioridade com outras funções públicas de interesse comum, como saneamento, transporte público, habitação, entre outros.

Percebe-se que a gestão integrada de resíduos sólidos depende de diferentes variáveis que muitas vezes se contrapõem e são interdependentes. Salientam-se, dessa forma, a dificuldade e a complexidade da tomada de decisão, da elaboração de políticas públicas e do desenvolvimento de instrumentos de gestão e governança efetivos para a resolução das questões enunciadas. Todo processo de decisão apresenta dificuldades impostas pela necessidade da escolha entre as alternativas. E para Clemen¹ (1996, apud NAJM *et al.*, 2002), existem quatro fontes geradoras dessas dificuldades na tomada de decisão: complexidade, incerteza, caráter multicriterial e subjetividade. E a seleção entre diferentes sistemas integrados de gestão de resíduos sólidos urbanos tem a particularidade de apresentar dificuldades oriundas das quatro fontes (NAJM *et al.*, 2002).

A complexidade, para Najm *et al.* (2002), vem das inúmeras variáveis interdependentes necessárias para compor o sistema: geração de resíduos sólidos, diferentes opções de ações e estratégias, viabilidade econômica das diferentes soluções e impactos ambientais associados a essas soluções, sendo um desafio conciliar todas essas variáveis. Já as dificuldades advindas das incertezas vêm da: variação da geração de resíduos sólidos pelas mudanças de comportamento da

¹ CLEMEN, R. **Making hard decisions, an introduction to decision analysis**, Second edition, Duxbury Press, 1996.

população, crescimentos populacionais imprevisíveis, mudanças de uso e ocupação do solo, mudanças dos custos de tratamento, evolução da tecnologia, entre outros fatores. Quanto a ser um problema multicriterial, Najm *et al.* (2002) afirma:

Progresso em uma direção pode impedir progressos em outras direções. Por exemplo, aterramento de resíduos pode ser a melhor alternativa de gestão em relação à minimização dos custos, porém, por outro lado, tem grande potencial de impacto ambiental negativo. (NAJM *et al.*, 2002, tradução nossa)

Por último, Najm *et al.* (2002) reforça a dependência da subjetividade no processo de decisão das soluções integradas propostas. Ou seja, há grande parcialidade, também, na metodologia escolhida por quem elabora a decisão, com a utilização de seu próprio peso de utilidade sendo ponderado (PARIKH, J.; PARIKH, K, 1998; BARTELMUS, 1998). E dentro desse contexto de complexidades, subjetividades, incertezas e diversos critérios de seleção, existe a necessidade de se traçar estratégias e ações concretas que comporão o planejamento dos grandes centros urbanos, da infraestrutura e dos serviços urbanos, assim como de acompanhá-las e mensurá-las, com base em um objetivo principal. Portanto, a escolha pelo melhor sistema de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos tornou-se tarefa tão difícil, que aproximou ferramentas de análise de sistemas complexos e modelos matemáticos desse processo de seleção (CHANG *et al.*, 1996; CHANG *et al.*, 2015), deixando, principalmente, de ser uma decisão baseada apenas na experiência.

Segundo Chang *et al.* (2015), o desenvolvimento dos modelos foi iniciado principalmente nos Estados Unidos e Canadá, onde cada década teve um foco diferente na abordagem da modelagem, que evoluiu conforme as necessidades reais emergentes nos grandes centros urbanos. Os primeiros modelos, do final da década de sessenta, objetivavam encontrar soluções de otimização dos custos de logística dos resíduos até os aterros sanitários. Tais estudos continuaram por mais de uma década, com o acréscimo de variações de tratamento, transporte e escala. Porém, ainda não eram modelos que tratavam a gestão de resíduos sólidos como sistemas integrados, considerando diversos aspectos apenas individualmente (MORRISSEY; BROWNE, 2004).

Apenas na década de oitenta os modelos começaram a considerar as inter-relações dos fatores que compunham os Sistemas de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (CHANG *et al.*, 2015). Iniciaram-se, assim, modelos que envolviam não

apenas otimização de custos, mas também necessidades de atendimento à legislação ambiental e à hierarquização de prioridades e multicritérios, avanços importantes da época. Já a inovação da década de noventa foi a inclusão dos centros recicladores e objetivos sustentáveis. Muitos modelos, softwares e metodologias foram criados e incorporados, como, por exemplo, Avaliação de Ciclo de Vida e Análise de Decisão Multicritério. Finalmente, nos últimos quinze anos, os desafios e objetivos da modelagem têm sido transformar tais modelos em ferramentas cada vez mais realistas e especializadas em diferentes funções e propósitos, como, por exemplo, conseguir prever de forma mais assertiva a geração futura de RSU de um município ou região (CHANG *et al.*, 2015).

A modelagem se tornou efetivamente uma ferramenta de análise interessante pois, experimentar Sistemas de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos na prática, é caro, demorado e de difícil avaliação e mensuração dos resultados (SUFIAN; BALA, 2007). Ou seja, a elaboração de um modelo onde diferentes cenários podem ser testados é uma maneira rápida de entender boa parte de sua complexidade, possibilitando a proposição de políticas públicas mais assertivas (BALA², 1999, apud SUFIAN; BALA, 2007). Além de que também podem ser descobertos novos aspectos que não eram anteriormente evidentes (CHANG *et al.*, 2015), como confirmam diversos estudos voltados à simulação de sistemas de gestão integrada de RSU (KUM *et al.*, 2005; PAWAN *et al.*, 1997; SIMONETTO *et al.*, 2014; SUFIAN; BALA, 2007).

Portanto, sabendo que experimentar diferentes cenários e sistemas de gestão integrada de RSU regionalizados para a RMSP é inviável na prática, optou-se pelo estudo por meio de modelagem. Porém, como as decisões políticas e os arranjos institucionais que são criados não são pautados exclusivamente em decisões técnicas, optou-se por incorporar na análise aspectos de governança metropolitana e formas de regionalizar a gestão de RSU. Unindo o estudo técnico proporcionado pela modelagem, com a análise qualitativa de estruturas de governança, a dissertação diagnostica a gestão de RSU da RMSP e de sua sub-região Sudeste. Ademais, avalia-se, por meio de modelagem revisada e selecionada, o potencial de integração da gestão de resíduos sólidos urbanos dessa sub-região específica sob a ótica de gerenciamento de RSU e de governança local.

² Bala, B.K., **Principles of System Dynamics**. Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India, 1999.

2 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como objetivo geral realizar o diagnóstico da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos dos municípios que constituem a Região Metropolitana de São Paulo e avaliar potenciais de integração da gestão de RSU no âmbito da sub-região Sudeste da RMSP, constituída pelos municípios Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.

Para se alcançar o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- i. Compreender as responsabilidades interfederativas em relação às Funções Públicas de Interesse Comum, buscando analisar arranjos adequados para a gestão de RSU;
- ii. Realizar diagnóstico do cenário atual da gestão de RSU na RMSP, sob a ótica do gerenciamento dos RSU e da governança metropolitana;
- iii. Realizar diagnóstico da gestão de RSU para os municípios que constituem a sub-região Sudeste, sob a ótica do gerenciamento dos RSU e da governança local;
- iv. Identificar os desafios enfrentados em relação a gestão de RSU pelos municípios da RMSP e de sua sub-região Sudeste, no âmbito dos serviços prestados e das estruturas presentes de governança;
- v. Revisar modelos matemáticos que sejam aplicáveis à escala metropolitana e à integração de sistemas de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos;
- vi. Selecionar o modelo mais apto para incorporar os sistemas constituintes da sub-região Sudeste da RMSP, selecionada como estudo de caso no âmbito da RMSP;
- vii. Modelar e simular o sistema de gestão de RSU dos municípios constituintes da sub-região Sudeste da RMSP em cenários de análise estabelecidos;
- viii. Identificar potenciais de integração entre os municípios da sub-região Sudeste, considerando aspectos de gerenciamento de RSU e governança local.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O desenvolvimento da dissertação foi organizado em quatro partes. A primeira parte da dissertação, que resultou no **Capítulo 4**, compreendeu no embasamento bibliográfico em relação às Regiões Metropolitanas no contexto brasileiro e no contexto da gestão de RSU. Apresenta-se uma análise qualitativa da conjuntura histórica brasileira e dos processos que ocorreram para a formalização institucional da governança metropolitana, apresentando um prognóstico para a integração de serviços relacionados a RSU. Assim, foi realizado um levantamento por pesquisa *online*, dos Planos Metropolitanos de Gestão de Resíduos Sólidos, para embasar a discussão sobre os desafios da gestão de RSU realizado de forma intermunicipal.

O texto desse capítulo também é permeado pelo esclarecimento de conceitos que geram confusão conceitual no estudo do tema, tornando-se imprescindível adotar bibliografias-base para alinhamento inicial e definição dos parâmetros de análise dos modelos de gestão de RSU. Os principais conceitos explorados foram:

- Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD);
- Destinação e Disposição de RSU;
- Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos;
- Novo paradigma da Gestão Integrada de RSU;
- Governança em relação à gestão de RSU.

Na segunda parte do trabalho, consolidada no **Capítulo 5**, apresentou-se um panorama atual da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo e de sua sub-região Sudeste, elencando os principais desafios envolvidos. Para contextualizar e embasar o diagnóstico, foram levantados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relatórios históricos, imagens cartográficas, relatórios da Associação Brasileira de Limpeza Pública Empresarial (ABRELPE), relatórios emitidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS). Foram ainda analisados políticas e instrumentos regulatórios pertinentes, incluindo o Estatuto da Metrópole, Política Nacional de Resíduos Sólidos, Política Estadual de Resíduos Sólidos, Planos Diretores e Planos Municipais. Matérias jornalísticas e diários oficiais dos municípios também foram utilizados na contextualização atual da gestão de RSU dos municípios da sub-região Sudeste da RMSP.

A terceira parte do trabalho, tratada no **Capítulo 6**, investigou-se modelos aplicáveis à avaliação de sistemas integrados de gestão de RSU no contexto da RMSP e sua sub-região Sudeste. Foram estudadas as peculiaridades dos locais de aplicação desses modelos e os objetivos perseguidos por cada um deles. Para isso, foram utilizados autores que realizaram extensas revisões bibliográficas sobre modelos aplicados para gestão integrada de RSU. Principalmente os autores Najm *et al.* (2002), Chang *et al.* (2011) e Chang *et al.* (2015). A partir dos modelos levantados e revisados, houve necessidade de selecionar o mais adequado para sua aplicação. Para isso, foram considerados alguns critérios de seleção:

- Adaptabilidade à escala regional;
- Possibilidade de analisar o potencial de integração da gestão dos municípios;
- Sensibilidade a diferentes políticas públicas;
- Possibilidade de análise dinâmica no tempo;
- Abordagem *bottom-up*.

Em relação à abordagem *bottom-up*, esta consistiu em um critério de destaque na pesquisa. Ao contrário da abordagem *top-down*, que investiga a influência das políticas nos resultados pretendidos, a abordagem *bottom-up* busca modelar as interações estratégicas dos agentes em uma rede de políticas (SABATIER, 1986). Portanto, como princípio, o modelo escolhido deve permitir partir de baixo para cima, das zonas de concessão dos serviços de gestão de resíduos sólidos urbanos dentro dos municípios, atingindo às sub-regiões da RMSP.

Com isso, selecionou-se a modelagem por simulação proposta por Simonetto e Löbler (2014), que utiliza a ferramenta *System Dynamics*. Tal ferramenta é muito utilizada para avaliação de diferentes políticas públicas (CHANG *et al.*, 2015). *System Dynamics* utiliza como premissa a simulação. As simulações têm como objetivo imitar o comportamento de sistemas reais, com o uso de computadores e *softwares* (KELTON *et al.*³, 1998 apud SIMONETTO; LÖBLER, 2014). E existem diversas ferramentas computacionais que utilizam *System Dynamics*. Os *softwares* mais comuns identificados em bibliografia foram: Stella e Vensim. No caso dessa pesquisa foi utilizado o *software* Stella, sendo a licença do programa adquirida pelo autor da pesquisa.

³ KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. **Simulation with Arena**. New York: McGraw-Hill, 1998.

O objetivo da simulação é verificar o comportamento do sistema e avaliar estratégias para sua efetiva operação (KELTON *et al.*³, 1998 apud SIMONETTO; LÖBLER, 2014). Pela dificuldade de se observar e analisar diretamente os sistemas de gestão integrada de RSU, a aplicação do modelo auxilia justamente no diagnóstico do sistema real. Também auxilia na identificação de possíveis estratégias a serem incorporadas em políticas públicas.

Assim, após a seleção pelo modelo proposto por Simonetto e Löbler (2014), a modelagem foi realizada para o recorte do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos da sub-região Sudeste da RMSP. A seleção dessa sub-região, a ser aplicado o modelo, ocorreu pelos seguintes critérios:

- Grande disponibilidade de dados;
- Número menor de municípios que as demais sub-regiões;
- Processo de governança da sub-região Sudeste avançado, viabilizando análises que podem ser propagadas para as demais Sub-regiões da RMSP, constituindo-se, assim, uma área pertinente para a realização de um estudo de caso.

Em relação a realização da modelagem, fez-se necessária a busca por dados brutos em planos de gestão municipais dos municípios que compõem a sub-região, Planos Regionais de RSU, portais de transparência dos municípios e relatórios gerados pelo SNIS, ABRELPE, IBGE e CETESB.

Na quarta etapa do trabalho, que resultou no **Capítulo 7**, foram analisados diferentes cenários simulados para a sub-região Sudeste da RMSP. Sob perspectiva dos desafios gerais de gestão metropolitana de RSU levantados no Capítulo 4, dos desafios específicos da RMSP e da sub-região Sudeste no Capítulo 5 e dos resultados retirados dos cenários simulados para a sub-região Sudeste, foi possível analisar os resultados e discutir o potencial de integração dos sistemas de gestão de RSU dos municípios Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.

Por fim, a quinta e última etapa, composta pelo **Capítulo 8**, apresenta as percepções sobre a modelagem do sistema proposto, com a apresentação de suas simplificações e adaptações à realidade simulada. Também são trazidas as conclusões da pesquisa e possíveis encaminhamentos para futuros trabalhos no tema.

4 CONTEXTO METROPOLITANO BRASILEIRO

4.1 GESTÃO E GOVERNANÇA METROPOLITANA

No Brasil, entre as décadas de 50 e 70, houve a intensificação do êxodo rural e da urbanização das cidades, impulsionados pelo processo de industrialização (ROLNIK; SOMEKH, 2000; BITTENCOURT, 2011). Em 1950, 36% da população brasileira vivia em cidades (IBGE, 2010a). Em 1970, esse valor já havia saltado para 56%. Com o rápido desenvolvimento das cidades, os processos de conurbação entre regiões urbanizadas originaram estreitamentos políticos, administrativos e propriamente físicos entre os municípios (AZEVEDO; GUIA, 2000). E essas novas interações e integrações fomentaram o aparecimento de dilemas urbanos como gestão da poluição ambiental, abastecimento de água, serviços públicos compartilhados e pobreza periférica (BITTENCOURT, 2011). Dilemas esses impossíveis de serem solucionados pelo município de forma individualizada, demandando o estabelecimento de formas de planejamento e gestão em nível metropolitano.

Antes da década de 1960, o termo "metrópole" não havia sido cunhado e muito menos regulamentado. Porém, governos estaduais e municipais já expressavam que algumas necessidades administrativas só seriam sanadas com a gestão compartilhada do espaço (BITTENCOURT, 2011). Em 1963, por exemplo, foi realizado o Seminário de Habitação e Reforma Urbana, promovido pelo Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB). Nesse seminário, houve a articulação municipal para que fossem criados “órgãos de administração que auxiliassem as municipalidades na solução de seus problemas comuns” (ARAUJO FILHO, 1996 ⁴ apud ROLNIK; SOMEKH, 2000). Porém, a metrópole era desprovida de apoio institucional sendo apenas uma ideia.

Foi então que com o Art. 157 da Constituição de 1967 e com a emenda Constitucional nº 1 de 1969, as Regiões Metropolitanas (RM) foram regulamentadas (BRASIL, 1969). Atribuiu-se à União a responsabilidade pela instituição das RMs. Porém, como discute Rolnik e Somekh (2000), não foram apresentados os critérios para a seleção dos

⁴ ARAUJO FILHO, V. F. Antecedentes político-institucionais da questão metropolitana no Brasil. In: CARDOSO, E. D. e ZVEIBIL, V. Z. (orgs). **Gestão metropolitana: experiências e novas perspectivas**. Rio de Janeiro, IBAM, p. 49-70, 1996.

municípios que iriam constituir cada metrópole, nem os critérios para delimitar as áreas de influência e como funcionaria a organização administrativa. Essa discussão postergou a criação das primeiras Regiões Metropolitanas no país.

A discussão sobre tais critérios culminou no importante marco de 1973, que por meio das Leis Federais Complementares nº 14 e nº 20, instituíram nove Regiões Metropolitanas: São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém, Fortaleza (BRASIL, 1973) e Rio de Janeiro (BRASIL, 1974). Segundo Rolnik e Somekh (2000), a escolha pelas primeiras Regiões Metropolitanas foi pautada em critérios racionalistas, econômicos e funcionais do espaço. Ou seja, optou-se pelas regiões com maior população aglomerada, extensão da área urbanizada sobre o território de mais de um município e integração econômica e social entre os municípios. A seleção dessas RMs estava alinhada com o II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND)⁵. Realizado para os anos 1975 – 1979, o II PND tinha como principal objetivo o crescimento econômico e desenvolvimento de uma “sociedade industrial moderna e um modelo de economia competitiva”. E assim, o plano indicou as estratégias para cada região metropolitana. Centralizada na União, as estratégias priorizaram investimentos em infraestruturas e regulamentação do uso e ocupação do solo que incentivassem a economia local e o controle do crescimento populacional.

Durante a década de 1980 ocorreu grande crise fiscal junto ao processo de redemocratização do país. Iniciou-se a fase da falta de investimentos públicos federais repassados para o desenvolvimento urbano regional. Isso originou o distanciamento do modelo de gestão metropolitano implantado para a sua administração de fato (ROLNIK; SOMEKH, 2000). Sendo assim, as entidades metropolitanas foram colocadas em segundo plano. Os recursos que eram destinados às RMs foram transferidos para os estados, municípios ou simplesmente extintos. A ordem era a descentralização do poder para os municípios e as regiões metropolitanas não eram mais a prioridade do governo federal (AZEVEDO, 2002).

Para Bittencourt (2011), não foi surpresa a metrópole não ser foco do III Plano Nacional de Desenvolvimento (III PND). O III PND, desenvolvido para o período entre 1980 e 1985, reafirmou a necessidade de distribuir melhor espacialmente as

⁵ BRASIL, Lei nº 6151, de 4 de dezembro de 1974. Dispõe sobre o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) para o período de 1975 a 1979. **Diário Oficial da União**, 06 dez. Suplemento, p 3-7, 1974.

atividades econômicas e a população no território. Porém, o discurso não estava mais pautado no metropolitano. Fica clara a intensão de descentralização administrativa, atribuindo mais poder aos municípios e estados:

(...) são de amplo interesse para a política de desenvolvimento urbano e regional a questão migratória, a desconcentração industrial, a reformulação e intensificação do desenvolvimento agrícola, a política energética, a política dos setores sociais e a descentralização administrativa para fortalecer os órgãos regionais e urbanos e os governos estaduais e municipais (BRASIL, 1979)

E foi nesse contexto que a Constituição de 1988 foi elaborada (BRASIL, 1988). Apresentando o desejo de descentralizar o poder, em clara oposição à centralização e ao autoritarismo dos anos anteriores, a prioridade foi munir o município de poder antes esvaziado no regime militar. E, com isso, iniciou-se o processo de fragmentação territorial, com a corrida pela criação de novos municípios. Entre 1988 e 2000, foram criados exatamente 1.438 municípios no Brasil, cerca de 26% dos municípios existentes em 2019 (Figura 2). As transferências interfederativas União-Estado-município e a autonomia municipal assegurada pela nova Constituição eram motivações suficientes para a criação de um novo município. A grande maioria dos municípios criados (76%) possuíam populações inferiores a dez mil habitantes (IBGE, 2010). E, infelizmente, “os novos entes políticos não dispunham de receita própria compatível com as demandas de sua sustentação, tornando-se dependentes de transferências interfederativas” (ARAÚJO; FERNANDES, 2014).

Figura 2 – Evolução do número de municípios existentes no Brasil entre 1940 e 2010

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados do IBGE (2010a)

Esse processo continuou até ser estancado com a Emenda Constitucional nº15/1996, segundo a qual passaram a ser exigidos Estudos de Viabilidade Municipal e maior controle das formações de novas municipalidades por parte da União (ARAÚJO e FERNANDES, 2014).

Enquanto isso, as regiões metropolitanas continuaram à deriva devido ao estancamento dos recursos federais e à interrupção do financiamento de projetos metropolitanos devido à crise fiscal e financeira (BITTENCOURT, 2011). Souza (2003) chega a afirmar que a aversão ao metropolitano durante as discussões de 1988 foi devido à repulsa às entidades metropolitanas da época do regime militar, centralizadoras e autoritárias. Lopes (2006) denomina o período subsequente à Constituição de 88 de “o período do voluntarismo sem modelo”. Estigmatizou-se como o período da ausência tanto do poder federal nas políticas urbanas metropolitanas, quanto de critérios para o estabelecimento de novas aglomerações urbanas e metrópoles.

Como a responsabilidade de definir e de instrumentar as novas regiões metropolitanas foi repassada aos governos estaduais, sua governança ficou pautada na articulação política entre os municípios e o Estado (ARAÚJO; FERNANDES, 2014). Considerando governança como sendo o conjunto de interações e interdependências entre estruturas político-administrativas e “serviços de administração pública de nível nacional, regional e local” (FERRAO, 2013), realizadas de forma cooperativa, o poder atribuído ao Estado fragilizou a governança metropolitana, dando início a “competição intermunicipal por sediar atividades econômicas, via incentivos fiscais em esquemas não raramente predatórios” (SANTOS; FERNANDES; TEIXEIRA⁶, 2013, apud ARAÚJO; FERNANDES, 2014).

Se por um lado fragilizou a governança das metrópoles, por outro os Estados iniciaram a formação desenfreada de Regiões Metropolitanas, sem critérios pré-estabelecidos, gerando falta de uniformidade conceitual do que seriam tais instâncias (ARAÚJO; FERNANDES, 2014). Devido à responsabilidade pela definição das RMs ter sido repassada aos Estados Federativos, a reunião de dados sobre a quantidade de regiões existentes ficou dificultada. Por exemplo, o Instituto de Pesquisa Econômica

⁶ SANTOS, Diego F.; FERNANDES, ANTÔNIO SÉRGIO A.; TEIXEIRA, M. A. C. As Regiões Metropolitanas no Brasil e o problema Institucional de Cooperação: a trajetória das Regiões Metropolitanas de Natal e Aracaju. **Cadernos EBAPE.BR** (FGV), v. XI, p. 368-382, 2013.

Aplicada (IPEA) divulgou que haviam 51 regiões metropolitanas em 2012 (FIRKOWSKI, 2013). Enquanto que o IBGE trabalhou com 36, em seu Censo 2010⁷. O Observatório das Metrópoles, em documento de 2010⁸, 2012⁹ e 2015¹⁰, apresenta a evolução de unidades regionalizadas (considerando regiões metropolitanas, regiões integradas de desenvolvimento econômico e aglomerações urbanas) passando de 21 formalizadas entre 1990 a 1999, para 78 em 2015 (Figura 3). Logo, há grande dificuldade de se conhecer o número exato de RMs presentes no Brasil.

Figura 3 – Evolução do número de unidades regionalizadas criadas entre 1973 a 2015

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de relatórios do Observatório das Metrópoles (2010; 2012; 2015)

A falta de critérios para o estabelecimento de tais RMs originou algumas peculiaridades. Por exemplo, o Estado de Santa Catarina conta com 100% de seus municípios em regiões metropolitanas, enquanto que o Estado da Paraíba tem 67% (IBGE, 2010). Ou seja, a mesma classificação é dada para aglomerados urbanos com características regionais diferentes. Além disso, em 2010, 1.308 municípios brasileiros estavam localizados em Regiões Metropolitanas (IBGE, 2010), o que representa 23,5% do total de municípios do país. Sendo assim, essa grande quantidade de municípios agrupados possuem a mesma classificação de Região Metropolitana.

⁷ Ver Tabela 3.1 nos resultados do Censo 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_rm_zip.shtm. Acesso em: setembro de 2017.

⁸ Observatório da Metrópole, **Regiões Metropolitanas do Brasil**. Disponível em: www.observatoriodasmetrosoles.net/download/observatorio_RMs2010.pdf. Acesso em: abril de 2017

⁹ Observatório da Metrópole, **Níveis de Integração dos Municípios brasileiros em RMs, RIDEs e AUs à dinâmica da metropolização**. Disponível em: www.observatoriodasmetrosoles.net/download/relatorio_integracao.pdf. Acesso em: abril de 2017.

¹⁰ Observatório da Metrópole, **Unidades Territoriais Urbanas no Brasil**. Disponível em: www.observatoriodasmetrosoles.net/images/abook_file/relatorio_unidadesurbanas2015.pdf. Acesso em: abril de 2017.

Essa classificação ampla e genérica, por sua vez, dificulta o direcionamento de políticas públicas e planejamento federal para as Regiões Metropolitanas e acarreta em diversos desafios. Para exemplificar, avaliando o tamanho populacional das 36 Regiões Metropolitanas que foram constituídas até 2010 (IBGE, 2010), evidencia-se um espectro extremamente diversificado de número de populações urbanas, todos classificados igualmente como Regiões Metropolitanas (Figura 4):

- 12 RMs possuem menos de 2 milhões de habitantes;
- 15 RMs possuem entre 2 e 4 milhões de habitantes;
- 3 RMs possuem entre 4 e 6 milhões de habitantes;
- 2 RMs possuem mais de 10 milhões de habitantes.

Figura 4 – Tamanho populacional das Regiões Metropolitanas levantadas pelo Censo 2010 do IBGE

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados do IBGE (2010)

Sabendo que não há os mesmos incentivos financeiros como no caso da emancipação dos municípios, Fernandes e Araújo (2015) alegam que as motivações para tantas formalizações de RMs nos últimos tempos devem ser estudadas de forma particularizada em seus respectivos Estados. E isso torna complexo seu entendimento. A descentralização do planejamento das metrópoles para os Estados, além de abandonar a ideia de um Plano Nacional de Desenvolvimento para tais centros urbanos, origina disputas de recursos escassos entre os municípios, as RMs e os Estados. Quanto mais regiões formalizadas, mais disputados os recursos se tornam (FERNANDES; ARAÚJO, 2015).

Apesar disso, uma explicação possível para o aumento do número de metrópoles é o fato da gestão municipal não ser suficiente para atender a demandas econômicas, sociais e ambientais que ultrapassavam as fronteiras individuais municipais (FERNANDES; ARAÚJO, 2015). Ou seja, ocorreu um processo natural de tentar solucionar os problemas que adentram a escala regional, mesmo sem ser possível realizar de forma completa a gestão metropolitana, principalmente pelo vácuo de ordenamento jurídico, legal e institucional deixado pela Constituição de 1988.

Após 27 anos de falta de ordenamento legal, em 2015 o Estatuto da Metrópole foi instituído, por meio da Lei Federal nº 13.089 (BRASIL, 2015). A lei vinha sendo discutida, sob inúmeras críticas, desde 2004, com o Projeto de Lei nº 3.460 (FERNANDES; ARAÚJO, 2015). Apesar de ter preenchido o vazio regulatório da gestão metropolitana, é possível destacar cinco importantes pontos em que o Estatuto da Metrópole inovou, porém deixou espaço para interpretação e discussão.

O primeiro ponto consiste no fato de que, apesar de se definir e segregar melhor os conceitos de aglomeração, metrópole e região metropolitana, visando estancar as discrepâncias entre metrópoles, os Estados Federativos continuaram responsáveis pela formalização e instituição de tais regiões. Ou seja:

- Cada Estado continuará interpretando as definições à sua maneira, aumentando a heterogeneidade das regiões estabelecidas;
- O Estatuto afirma que as definições e os critérios começam a valer apenas a partir da instituição da lei. Portanto, não serão revistas as inúmeras regiões, até então instituídas sem critérios claros;
- A União continua abstendo-se da responsabilidade de realizar um planejamento nacional para as Regiões Metropolitanas.

O segundo ponto importante consiste no veto dos arts. 17 e 18, que instituiriam o Fundo Nacional de Desenvolvimento Urbano Integrado (FNDUI). O fundo tinha a finalidade de “captar recursos financeiros e apoiar ações de governança interfederativa em regiões metropolitanas e em aglomerações urbanas” (BRASIL, 2015). A justificativa para o veto apresentada foi:

A criação de fundos cristaliza a vinculação a finalidades específicas, em detrimento da dinâmica intertemporal de prioridades políticas. Além disso, fundos não asseguram a eficiência, que deve pautar a gestão de recursos públicos (BRASIL, 2015a)

Ao anular o FNDUI, o governo federal se absteve, novamente, da responsabilidade de participar diretamente do desenvolvimento urbano das regiões metropolitanas. Isso tem, como consequência, a não regulação das formas de financiamento para os projetos metropolitanos. Assim, arranjos institucionais e políticas locais têm a responsabilidade de encontrar formas de autofinanciamento, o que origina embates entre a autonomia municipal e a autonomia metropolitana, além do desgaste municipal com os seus respectivos Estados (FERNANDES; ARAÚJO, 2015). Onde os investimentos federais seriam uma forma clara de minimizar tais conflitos regionais, criou-se um espaço que permite os embates entre municipalidade e Estado.

E nesse embate, devido à falta de formas claras e institucionais de financiamento dos projetos estruturantes metropolitanos e, principalmente sem o FNDUI, muitas perguntas ficam sem respostas:

- Como ocorrerá a partilha das receitas tributárias entre os municípios integrantes das RMs?
- Quem irá administrar tais recursos?
- Quem regulará as disputas orçamentárias entre municípios com poderes desiguais?
- Como incentivar a resolução de desafios metropolitanos onde as prefeituras possuem outras ações prioritárias? ^{11 12 13}

Ou seja, os maiores desafios residem na escala de investimento das políticas públicas e na eficiência da gestão compartilhada dos projetos delas derivados. Os municípios que compõem as Regiões Metropolitanas, em especial os de pequeno porte, têm baixa capacidade de investimento frente ao montante necessário para os projetos metropolitanos. Como parâmetro, as transferências da União representam 70% das receitas correntes de 94% dos municípios brasileiros (COSTA *et al.*, 2018), não

¹¹ Observa SP, **O Estatuto da Metrópole e seu financiamento**. 24 de março de 2015. Disponível em: www.observasp.wordpress.com/2015/03/24/o-estatuto-da-metropole-e-seu-financiamento/. Acesso em julho de 2017.

¹² Observatório da Metrópole, **Estatuto da Metrópole: avanços, limites e desafios**, 22 de abril de 2015. Disponível em: <http://observatoriodasmetrolopes.net.br/wp/estatuto-da-metropole-avancos-limites-e-desafio>. Acesso em julho de 2017.

¹³ Observa SP, **Estatuto da Metrópole: o gargalo do financiamento**, 10 de junho de 2015. Disponível em: <https://observasp.wordpress.com/2015/06/10/estatuto-da-metropole-o-gargalo-do-financiamento/>. Acesso em julho de 2017.

havendo independência financeira municipal necessária para o investimento do mesmo em projetos estruturantes metropolitanos.

Para tanto, se faz necessário encontrar modelos de financiamento que considerem essa condição de desigualdade entre os diferentes entes federativos presentes nesses espaços regionais (IPEA, 2013). Porém, outro problema é evidenciado. Sem a cooperação entre todos os municípios de uma RM, é complicado garantir a partilha de recursos de forma justa. Como exemplo, o município de Salvador resiste em participar do arranjo metropolitano em que pertence (COSTA *et al.*, 2018), prejudicando a gestão compartilhada.

O terceiro ponto consiste no avanço do Estatuto da Metrópole em relação ao ordenamento territorial (MOREIRA; GUIMARÃES, 2015). O Estatuto passou a exigir que “regiões metropolitanas e as aglomerações urbanas deverão contar com Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, aprovado mediante lei estadual” (BRASIL, 2015). O Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) obriga a compatibilização e integração do parcelamento, uso e ocupação do solo, do macrozoneamento urbano e das restrições à urbanização. Além disso, com o PDUI, os municípios pertencentes às RMs devem se reunir para planejar, organizar e executar projetos que visem atender às Funções Públicas de Interesse Comum (FPIC).

Houve conflito inicial para a criação dos PDUIs, devido à dificuldade por parte das RMs cumprirem o prazo inicial de 3 anos para sua elaboração. Segundo Costa *et al.* (2018), que realizou um levantamento com 12 Regiões Metropolitanas, houve consenso em relação ao pouco tempo dado para sua elaboração, de forma que se respeitasse os trâmites necessários para participação dos entes envolvidos. Além disso, as RMs apontaram a falta de orientação ativa do governo federal durante o processo (COSTA *et al.*, 2018). Com isso, houve alteração da Lei original do Estatuto da Metrópole, com a prorrogação da data limite para a elaboração do PDUI para 2021 (BRASIL, 2018).

Outro ponto refere-se à falta da institucionalização do fundo nacional, que teria sido um estímulo para a elaboração dos planos. Fica evidente que apesar de instrumentar as RMs com os Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado, a falta de regulação do investimento federal não auxilia na resolução de conflitos intermunicipais

acarretados pelos desequilíbrios de poder, territoriais e/ou orçamentários. Problemas de interesse comum regionalizados, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, macrodrenagem, mobilidade e resíduos sólidos, não terão auxílio da União para serem solucionados, tendo que disputar escassos recursos do Estado para elaboração de projetos estruturantes metropolitanos (FERNANDES; ARAÚJO, 2015) ou dividir os custos entre os municípios envolvidos.

Por último e quarto ponto, o Estatuto da Metrópole trouxe o conceito inovador das Funções Públicas de Interesse Comum (FPIC) já citado, que, segundo SANTOS (2018), traduz a “essência e razão de ser das RMs”:

Art. 2º (...) II - função pública de interesse comum: política pública ou ação nela inserida cuja realização por parte de um Município, isoladamente, seja inviável ou cause impacto em Municípios limítrofes (BRASIL, 2015)

A institucionalização das FPICs consiste em um avanço conceitual pois permite aos municípios se reorganizarem para planejar e realizar funções públicas em uma nova instância de discussão e decisão, as metrópoles. E isso, segundo Costa *et al.* (2018), desdobra-se em duas melhorias:

- i. Aumenta-se a eficiência na gestão das FPICs por trazer foco e atenção aos problemas metropolitanos;
- ii. Reduzem-se as dificuldades em relação a tomadas de decisões democráticas em relação às FPICs, tanto entre os entes federados quanto entre o poder público e a sociedade civil.

Por outro lado, a lei deixa algumas discussões em aberto. Na definição da FPIC é apresentada que ela só seria regional caso fosse “inviável” sua realização por parte de um município isolado. Nesse caso, qual aspecto da inviabilidade deve ser analisado? Aspectos técnicos, financeiros ou de arranjos institucionais? Em nenhum momento é especificado. No entendimento de Santos (2018), a viabilidade consiste na busca pela melhor forma da prestação do serviço à população, por meio de um serviço público “mais eficiente, com maior escala e modicidade tarifária e melhor atendimento”. Porém, ainda deixa margem à interpretação.

Em relação ao quinto e último ponto, para que as RMs se organizem, planejem e executem as Funções Públicas de Interesse Comum, o Estatuto da Metrópole estabeleceu a governança interfederativa:

IV – Governança interfederativa: compartilhamento de responsabilidades e ações entre entes da Federação em termos de organização, planejamento e execução de funções públicas de interesse comum; (BRASIL, 2015)

A governança interfederativa consiste em organizar os arranjos político-institucionais e processos de decisão para que os municípios de uma RM solucionem de forma compartilhada os problemas relacionados a suas FPICs. E o primeiro princípio estipulado dessa governança pelo Estatuto da Metrópole consiste na “prevalência do interesse comum sobre o local” (BRASIL, 2015). Entretanto, apesar de ser primordial para as tratativas dos problemas regionais, interfere na competência e na autonomia dos entes federativos no Brasil, pois, segundo Santos (2018), “viabiliza o exercício de competências de mais de um ente, num espaço que vai além dos limites político-administrativos e territoriais”. Por outro lado, o próprio Estatuto da Metrópole, em seu terceiro princípio da governança, ressalta a preservação da autonomia dos entes federativos (BRASIL, 2015). Ou seja, apesar do interesse comum ser prioritário ao interesse local, a solução deve ser proposta de forma compartilhada com o dever de cooperação entre os entes envolvidos. Não havendo, portanto, perdas de autonomia do município perante ao da Região Metropolitana ou do Estado. E deixa em aberto como deverão ser compartilhadas as responsabilidades interfederativas.

Além dos princípios norteadores da governança interfederativa, também foram instauradas diretrizes específicas que devem ser cumpridas para legitimar a governança de fato da Região Metropolitana (BRASIL, 2015):

- Implantação de processo de planejamento e tomada de decisões, quanto ao desenvolvimento urbano e às políticas setoriais das funções públicas de interesse comum;
- Estabelecimento de meios compartilhados de organização administrativa das Funções Públicas de Interesse Comum;
- Estabelecimento de sistema integrado de alocação de recursos e de prestação de contas dos municípios envolvidos em suas RMs;
- Execução compartilhada das funções públicas de interesse comum, mediante rateio de custos, apesar de não especificar como deve ser feito tal rateio, devendo apenas ser pactuado no âmbito da estrutura de governança a ser criado pelas RMs;

- Participação de representantes da sociedade civil nos processos de planejamento e de tomada de decisão, garantindo a gestão democrática;
- Compatibilização dos planos plurianuais (PPA), leis de diretrizes orçamentárias (LDOs) e orçamentos anuais (LOAs);
- Compensação por serviços ambientais ou outros serviços prestados pelo Município à unidade territorial urbana.

E para todas essas diretrizes, o Estatuto da Metrópole estabeleceu que as especificidades de cada município devem ser respeitadas, atribuindo alguns critérios que equilibrem as diferenças entre os entes envolvidos em uma RM:

Parágrafo único. Na aplicação das diretrizes estabelecidas neste artigo, devem ser consideradas as especificidades dos municípios integrantes da unidade territorial urbana quanto à população, à renda, ao território e às características ambientais (BRASIL, 2015)

Esse item é de suma importância pois cada município integrante da RM possui uma realidade diferente. E tenta, até onde consegue, garantir que o poder decisório não fique concentrado em um único ente, buscando equilibrar a assimetria financeira, territorial e de poder existente entre os municípios envolvidos, apesar desse ponto ser objeto de divergência. No caso, ao estabelecer os critérios em relação as especificidades municipais (população, renda, território e características ambientais), ainda assim não fica claro como seria a divisão dos pesos decisórios (COSTA *et al.*, 2018). O Supremo Tribunal Federal (STF), sendo indagado durante as discussões da formulação do Estatuto da Metrópole, compreendeu que:

A participação dos entes nesse colegiado não necessita de ser paritária, desde que apta a prevenir a concentração do poder decisório no âmbito de um único ente. A participação de cada município e do estado deve ser estipulada em cada região metropolitana de acordo com suas particularidades, sem que se permita que um ente tenha predomínio absoluto (STF, 2013)

Novamente fica claro que a União repassou completamente as decisões relacionadas à viabilização financeira do planejamento metropolitano para o Estado e os municípios envolvidos. Decidir como investir, repartir os custos e como arrecadar, fica a critério de cada uma das regiões metropolitanas, devendo estas pensar regionalmente em como minimizar os efeitos das assimetrias entre os municípios.

O Estatuto da Metrópole poderia ter explorado as especificações de rateio, mas optou por deixar em aberto para as RMs incluírem suas particularidades. O que por um lado é positivo, já que permite a inclusão de características particulares de cada Região Metropolitana, tão diversas. E por outro lado, negativo, por deixar de criar critérios mais claros de compartilhamento de responsabilidade e custos, deixando margem para embates predatórios entre os municípios em busca de recursos. No fim, solucionar os problemas relacionados às Funções Públicas de Interesse Comum fica a cargo dos municípios e dos Estados se articularem por meio dos instrumentos criados para as Regiões Metropolitanas como o PDUI e os ambientes formais de governança de tomada de decisão.

De qualquer forma, o desafio de se pensar regionalmente consiste na busca por soluções que consigam otimizar e aumentar a eficiência da interação entre os serviços públicos prestados, e que englobem as assimetrias municipais. Busca-se, dessa forma, a redução de custos nas prestações de serviço de interesse comum, a realização de planejamento integrado de políticas públicas setoriais, a viabilização de projetos sem onerar injustamente municípios e a integração de planejamentos municipais em um planejamento regional.

Nesse contexto também se inserem os serviços de manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, objeto do trabalho, que é caracterizado também como uma função pública de interesse comum. Isso fica evidenciado pelas seguintes constatações (SANTO ANDRÉ, 2016):

- i. Os municípios enviam RSU a aterros sanitários distantes, localizados em municípios vizinhos;
- ii. Os aterros ocupam áreas imensas e geram impactos ambientais, como emissão de gases de efeito estufa e necessidade de tratamento de lixiviado;
- iii. E como os resíduos são recebidos advindos de outros municípios, há compartilhamento de tais impactos ambientais entre os municípios envolvidos;
- iv. Terrenos próximos aos centros urbanos para a implantação de novos aterros tornaram-se escassos, sendo necessário pensar regionalmente onde será instalado tal equipamento urbano;
- v. Equipamentos urbanos como aterros sanitários, transbordo ou usinas de reciclagem, ou seja, estruturas de valorização, armazenamento temporário ou

de beneficiamento, podem ser viabilizadas de maneira compartilhada entre municípios;

- vi. As infraestruturas viárias dos municípios limítrofes são integradas apesar dos sistemas de coleta normalmente não o serem, tornando o sistema ineficiente.

Fica evidente que a gestão de RSU otimiza recursos quando realizada regionalmente. Recursos estes territoriais, financeiros, naturais e ambientais. Assim, por consequência, busca-se a viabilidade da implantação de uma gestão integrada de RSU. Porém, apesar dos benefícios, existem muitos desafios relacionados à regionalização, mesmo após a instituição do Estatuto da Metrópole. Como viabilizar estruturas regionais considerando que não haverá repasse via Fundo Nacional de Desenvolvimento, como serão realizadas as concessões de serviços intermunicipais, como vão ser distribuídos os custos em caso de investimentos regionais, entre outras indagações. O item a seguir conceitua primeiramente o que seria a Gestão Integrada de RSU e analisa tais desafios.

4.2 DESAFIOS DA GESTÃO INTEGRADA DE RSU NO CONTEXTO METROPOLITANO

A aglomeração urbana exige que seja organizada uma sistemática dos fluxos e do escoamento dos resíduos sólidos gerados pelos seus habitantes. As etapas operacionais desses fluxos, quando agregadas em um sistema, constituem o Gerenciamento dos Resíduos Sólidos (GUNTHER, 2011). O gerenciamento é composto pelas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação, inclusive para o caso dos Resíduos Sólidos Urbanos, objeto específico da pesquisa.

Os RSU são compostos pela somatória entre Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD), originários de atividades domésticas, e Resíduos de Limpeza Urbana (RLU), originários da varrição e limpeza de espaços públicos (BRASIL, 2010). O gerenciamento dos RSU é de responsabilidade da administração pública municipal. O município cumpre com a obrigatoriedade do gerenciamento dos RSU por meio de serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2007).

Por outro lado, diferentemente do gerenciamento, a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos não considera apenas o viés operacional do sistema, pois abrange também aspectos sociais, econômicos e ambientais (GUNTHER, 2011). Na visão de Günther

(2011), para além desse conceito de gerenciamento e gestão, existe ainda a necessidade de inter-relacionar “ações normativas, operativas, financeiras, de planejamento, administrativos, sociais, educativas, de monitoramento, supervisão e avaliação” com todas as etapas do gerenciamento, utilizando o termo “gestão integrada” para resumir esse conceito mais holístico. Esse seria o novo paradigma do desafio de resolver a problemática dos resíduos sólidos. Para Wilson *et al.* (2013), o conceito “gestão integrada” ganhou força a partir dos anos noventa, com a percepção de que as soluções embasadas na gestão convencional, ou no gerenciamento puramente técnico, acabavam falhando, principalmente em países em desenvolvimento. Marshall e Farahbakhsh (2013) também consideram “gestão integrada” o paradigma atual da gestão de resíduos sólidos, alegando que a integração consiste em incorporar “as perspectivas das partes interessadas e necessidades, o contexto local (...) e a combinação ideal de métodos apropriados de prevenção, redução, recuperação e descarte”.

Alinhada com o tal paradigma, a PNRS de 2010 estabeleceu a gestão integrada como um de seus objetivos, definindo-a como sendo 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. (BRASIL, 2010)

Considerando os diversos autores e a PNRS, há consenso bibliográfico em relação ao uso da terminologia “gestão integrada” como o novo paradigma da gestão de resíduos sólidos. Por outro lado, as definições do termo são abrangentes e vagas, pouco auxiliam na organização das análises e no diagnóstico da integração entre diferentes municípios.

Nesse sentido, os autores Wilson *et al.* (2013) formularam um *framework* que organiza e resume os aspectos que devem ser analisados na gestão integrada e sustentável de resíduos sólidos (Figura 5). O *framework* é composto por duas visões complementares: os aspectos de infraestrutura da gestão de resíduos e os aspectos relacionados às estratégias de governança. Os aspectos de infraestrutura e de governança são simbolizados cada um por um triângulo e seus lados representam elementos primordiais para a gestão ser integrada e sustentável. Os aspectos de

infraestrutura relacionam-se com as etapas do gerenciamento, ou seja, com as etapas operacionais e com as infraestruturas necessárias para a operação do sistema.

Figura 5 – Framework de análise da Gestão Integrada Sustentável de Resíduos Sólidos

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Wilson *et al.* (2013)

Os três elementos que são considerados na análise dos aspectos de infraestrutura, segundo Wilson *et al.* (2013), são:

- **Saúde Pública:** considerando principalmente o paralelo entre a coleta de RSU e a redução dos fatores de risco à saúde dos cidadãos;
- **Ambiental:** sendo considerado a disposição ambientalmente adequada essencial para a redução dos impactos ambientais;
- **Hierarquia de Resíduos:** deve-se considerar a priorização pela redução da geração de RSU, pela reutilização e pela reciclagem dos materiais passíveis de serem reciclados, em detrimento da disposição final.

Em relação às estratégias de governança, que correspondem à manutenção do funcionamento da gestão, são compostas por outros três elementos chave:

- **Inclusão dos Usuários e Provedores:** as partes interessadas devem ser identificadas e devem participar da gestão. São agentes primordiais envolvidos na gestão. Sendo eles os usuários, que são os geradores e utilizadores dos serviços, quanto os provedores pelos serviços, sendo exercido pelo poder público e/ou privado;

- **Sustentabilidade financeira:** a gestão integrada deve privilegiar soluções acessíveis financeiramente e com custos-benefícios comprovados. Além dos municípios buscarem alternativas de sustentabilidade financeira por meio de diferentes instrumentos econômicos existentes;
- **Instituições sólidas e políticas proativas:** as instituições envolvidas consolidam a gestão integrada e as políticas criadas e direcionam os planos de ação.

Pensando no contexto metropolitano, com esses seis elementos descritos e divididos entre aspectos de infraestrutura e de governança, é possível organizar o que buscar em termos de Gestão Integrada de RSU, de forma regionalizada: um sistema que vise atender à população com coleta e destinação ambientalmente correta dos RSU gerados, priorizando a valorização em detrimento da disposição em aterro. Além de ser um sistema viável financeiramente aos entes envolvidos, deve incluir as partes interessadas na discussão das soluções e apresentar uma estrutura sólida de governança onde sejam deliberadas diretrizes e políticas regionais.

Para levantar os principais desafios relacionados à implantação de sistemas de Gestão Integrada de RSU de forma regionalizada, foram levantados e analisados Planos Metropolitanos de Gestão de RSU elaborados por Regiões Metropolitanas brasileiras. Escolheu-se a análise de tais planos pois esse instrumento foi criado para auxiliar justamente no planejamento dos serviços públicos prestados regionalmente e na gestão e governança dos resíduos sólidos gerados pelas Regiões Metropolitanas, exigindo um conteúdo extenso para sua aprovação. Além de exigir a elaboração de um diagnóstico atual do sistema, os planos metropolitanos devem conter a definição de metas, previsão de programas e projetos para atendimento dessas metas, indicadores de desempenho operacional e ambiental, identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas, proposição de cenários, entre outros conteúdos (BRASIL, 2010).

A pesquisa realizada a partir da consulta a páginas de *internet* de órgãos governamentais estaduais e do Ministério do Meio Ambiente, encontrou planos para oito RMs: Grande Vitória, Campinas, Recife, Belo Horizonte, Baixada Santista, Manaus, Alagoas e São Luís. Os planos estão apresentados em ordem cronológica conforme Quadro 1. Além das oito RMs citadas, as Regiões Metropolitanas de São

Paulo e Porto Alegre possuem planos elaborados na década de 1990, inacessíveis *online*, portanto, não foram analisados na presente dissertação.

A constatação de que diversos Planos Metropolitanos de Gestão de RSU foram elaborados nos últimos 10 anos já é um indicador da recente mobilização das Regiões Metropolitanas na direção do planejamento integrado. E com relação ao conteúdo dos documentos e sua efetivação, ainda são incipientes as tentativas de regionalizar a gestão. Existem muitos entraves financeiros e políticos a serem solucionados, motivo para grande parte das estratégias, programas e projetos apresentados nos planos serem genéricos. De qualquer forma, os desafios trazidos pelos planos são bastante pertinentes.

Quadro 1 – Planos Metropolitanos de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos disponíveis *online*

Plano Metropolitano de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	Região Metropolitana	Data da publicação
Plano Diretor de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Grande Vitória	Grande Vitória	Novembro 2009
Plano Diretor de Gestão dos Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Campinas	Campinas	Julho 2009
Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana do Recife	Recife	Maio 2011
Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos: Região Metropolitana de Belo Horizonte e Colar Metropolitano	Belo Horizonte	2013
Plano Integrado de Gestão de Resíduos Sólidos - Consórcio Intermunicipal de Manejo de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Campinas	Campinas	Janeiro 2013
Plano de Resíduos Sólidos da Região de Desenvolvimento Metropolitana de Pernambuco, incluindo programa de Coleta Seletiva	Recife	Maio 2016
Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Baixada Santista	Baixada Santista	Julho 2017
Plano de Resíduos Sólidos e Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Manaus	Manaus	Setembro 2017
Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana Alagoana	Alagoana	2017
Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Grande São Luís	São Luís	Em elaboração

Fonte: Elaborado pelo autor

O principal desafio levantado refere-se à sustentabilidade financeira dos sistemas. A dificuldade em encontrar linhas de financiamento regionais para a aquisição de equipamentos, sistemas de destinação final, tratamento e armazenamento está presente em todas as RMs. Mas, antes disso, grande parte dos municípios não

viabilizam economicamente seus próprios serviços de gestão de RSU. E apesar de esse ser um argumento mais próximo dos incentivos à regionalização, otimizando os gastos ao compartilhar estruturas e sistemas, também é uma dificuldade à integração. A falta de orçamento suficiente nos municípios dificulta o estabelecimento do balanço dos gastos entre os municípios, gerando conflitos.

Uma das razões para os municípios não conseguirem arcar com seus gastos com RSU é a baixa cobrança das taxas de coleta e destinação final dos resíduos, mesmo com a maioria dos municípios já prevendo esta cobrança em seus instrumentos legais. No cenário brasileiro, aproximadamente 57% dos municípios brasileiros não possuem instrumentos de cobrança pelos serviços de gestão de RSU prestados. Dos demais 43% que possuem instrumentos de cobrança pelos serviços de RSU prestados, apenas 22,6% desses municípios arrecadam o suficiente para sustentar metade ou mais das despesas envolvidas com coleta e destinação dos RSU (SNIS, 2018a). Isso representa uma parcela muito pequena de municípios que consegue ter certo grau de autossuficiência financeira em relação aos serviços de RSU prestados.

Outras questões apresentadas nos planos são de especificidade mais técnica. Como, por exemplo, as dificuldades decorrentes da falta de classificação e cobrança específica de grandes geradores de resíduos nos municípios. Comerciantes utilizam os sistemas de coleta, sem serem cobrados, o que impacta no sistema como um todo (TIERNO, 2017). Outro exemplo consiste na fragilidade das estratégias de comercialização conjunta dos materiais recicláveis. Ou, ainda, a ausência de iniciativas de tratamento de resíduos orgânicos por meio de processos de compostagem. Ou seja, em praticamente todas as RMs, os resíduos orgânicos estão sendo dispostos em aterros sanitários, sendo desperdiçado seu potencial de reaproveitamento e ocupando espaço enorme nos aterros.

Aliás, todos os planos levantam a problemática do esgotamento dos aterros ser algo emergencial pois há grande dificuldade em se encontrar novas áreas. Ao mesmo tempo, sinalizam para a realização de consórcios entre municípios para a implantação de novos aterros regionais. Ficou evidente a preferência pela utilização de consórcios e efetivação de Parcerias Público-Privada (PPPs) com transferência da prestação do serviço ao setor privado. Essa foi a maior evidência do vazio da estrutura metropolitana criada pelo Estatuto da Metrópole.

Outra questão comum identificada nos planos metropolitanos foram as dificuldades em regionalizar os serviços públicos de coleta e destinação de RSU. Por exemplo, a prestação dos serviços normalmente não é padronizada entre os municípios que se busca regionalizar. Em alguns casos, o município presta o serviço de forma direta, em outros, há concessão à iniciativa privada, dificultando a integração. Ou ainda, são realizados contratos curtos de até 5 anos com as concessionárias privadas, sendo mais onerosos para os municípios comparado com cenários com mais longos prazos de contratação. Existe também a falta de padronização em relação ao pagamento das concessionárias, muitas vezes desvantajoso para os municípios. Alguns contratos apresentam cobrança com preço fixo e outros com preço atrelado à quilometragem percorrida pelos veículos.

Apesar de tais desafios não terem sido levantados especificamente para a RMSP, foram utilizados como critérios norteadores para a análise da gestão de RSU da Região Metropolitana paulista.

5 POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DE RSU NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

5.1 DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RSU NA RMSP

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foi instituída pela Lei Complementar Federal nº 14, de 1973, e disciplinada pela Lei Complementar Estadual nº 94, de 1974. É uma das seis regiões metropolitanas presentes no estado de São Paulo, além das aglomerações urbanas de Franca, Piracicaba e Jundiaí (Figura 6). A RMSP juntamente com as Regiões Metropolitanas do Vale do Paraíba e Litoral Norte, Baixada Santista, Campinas e Sorocaba e com as aglomerações urbanas de Jundiaí e Piracicaba, constituem a Macrometrópole Paulista (Figura 7).

Figura 6 – Regiões Metropolitanas do Estado de São Paulo

Fonte: <http://www.emplasa.sp.gov.br>. Acesso em setembro de 2017.

Figura 7 – Macrometrópole Paulista composta por cinco regiões metropolitanas

Fonte: <http://www.emplasa.sp.gov.br>. Acesso em setembro de 2017.

A Lei Complementar Estadual nº 1.139, aprovada em 2011, reorganizou a gestão metropolitana de São Paulo (IPEA, 2013). Dentre suas atribuições:

- i. Alterou o nome de “Região Metropolitana da Grande São Paulo” para “Região Metropolitana de São Paulo”;
- ii. Incluiu os municípios São Lourenço da Serra e Vargem Grande Paulista na região, que se emanciparam de outros municípios da RMSP entre 1974 e 2011;
- iii. Apresentou os objetivos de se institucionalizar essa RM, visando principalmente à “integração do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum aos entes públicos atuantes na região” (SÃO PAULO, 2011);
- iv. Instituiu o Fundo de Desenvolvimento da RMSP com “a finalidade de dar suporte financeiro ao planejamento integrado” (SÃO PAULO, 2011);

- v. Dividiu territorialmente os 39 municípios da RMSP em cinco sub-regiões, sendo que o município de São Paulo integra todas elas.

Os municípios constituintes de cada uma das cinco sub-regiões estabelecidas são (Figura 8):

- **Norte:** Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã;
- **Leste:** Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano;
- **Sudeste:** Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul;
- **Sudoeste:** Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeçerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista;
- **Oeste:** Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba.

Figura 8 – Mapa das sub-regiões constituintes da Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: <http://www.emplasa.sp.gov.br>. Acesso em setembro de 2017

A RMSP possui população total de 21,2 milhões de habitantes (IBGE, 2017). Habitam nessa região 49,42% da população do Estado de São Paulo e 10,33% da população brasileira. Como a área da RMSP é de apenas 3,2% da área total do Estado de São Paulo, a RMSP possui alta densidade populacional, de aproximados 2.654 hab/km² (IBGE, 2017). A região também concentra a produção econômica do país, e

apresentou Produto Interno Bruto (PIB) na ordem de 1 trilhão de reais em 2014 (IBGE, 2017), valor que consistiu na contribuição de 55% do PIB do Estado de São Paulo e 18,5% do PIB nacional.

Uma das consequências de ser a região mais povoada, populosa e rica do país é a enorme concentração de geração de RSU. Cerca de 10% dos resíduos gerados em todo o Brasil são provenientes dos habitantes da RMSP (ABRELPE, 2017). Segundo relatório da ABRELPE, foram coletados em 2015 na RMSP, cerca de 18,5 mil ton/dia de resíduos sólidos urbanos (ABRELPE, 2016), representando 30,1% da geração do Estado de São Paulo. Esse valor é superior à soma da geração, por exemplo, da Áustria, Dinamarca e Holanda, que geraram juntas, no mesmo ano, 15,2 mil ton/dia de RSU (OECD, 2015). Dessa forma, entende-se que a gestão desse volume enorme de resíduos, cuja geração tende a crescer, exige o entendimento e o diagnóstico das interações entre os municípios constituintes da RMSP.

5.1.1 ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA DA GESTÃO DE RSU NA RMSP

No que tange à disposição final de resíduos sólidos, a CETESB, por sua vez, realiza a avaliação da qualidade dos locais de destino de resíduos sólidos urbanos do Estado de São Paulo, por meio dos Índices de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), de Qualidade de Aterro de Resíduos em Valas (IQR-Valas) e de Qualidade de Usinas de Compostagem (IQC), classificadas em duas faixas de enquadramento: adequada e inadequada. As motivações por trás do monitoramento dos índices propostos consistem em controlar a destinação inadequada para lixões e aterros controlados, assim como avaliar as “condições ambientais dos sistemas em operação” como um todo (CETESB, 2018). Para estabelecer tais índices, informações são coletadas por meio de inspeções técnicas e aplicação de questionários padronizados, que avaliam as características do local, das estruturas e da operação de cada uma das infraestruturas do Estado de São Paulo que recebem resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2018).

Os índices de qualidade são atribuídos anualmente para todos os locais de destino dos RSU dos municípios paulistas. A análise dos índices é apresentada com os municípios segregados por Bacias Hidrográficas. A RMSP é composta por municípios que estão em sua maioria na Bacia do Alto Tietê. Apenas Juquitiba está na Bacia do

Ribeira de Iguaçu e, os municípios Guararema e Santa Isabel, na Bacia do Paraíba do Sul. Com isso, foi possível realizar o levantamento histórico das disposições finais para todos os municípios que compõem a RMSP.

A análise baseou-se no índice IQR, pela possibilidade de apresentar dados para todos os municípios da RMSP. Os demais índices são específicos para soluções de disposição que não são utilizadas na região metropolitana. Nos mapas apresentados na Figura 9, os indicadores são visualizados territorialmente.

Figura 9 – Representação do IQR dos municípios constituintes da Bacia do Alto Tietê, em anos selecionados, de 2007 a 2017

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de CETESB (2008; 2011; 2012; 2018)

Quando o município é apresentado em verde significa que a disposição final é realizada de forma adequada, em aterros sanitários (com IQR entre 8,1 e 10,0 até 2011 e entre 7,1 e 10,0 após 2011). Quando em amarelo, significa que houve disposição parcialmente adequada, sendo principalmente atrelado à disposição em aterros controlados (com IQR entre 6,1 e 8,0). Essa classificação amarela deixou de existir a partir do inventário de 2012 com alteração metodológica. E, por último, a classificação vermelha corresponde à disposição ambientalmente inadequada (com IQR entre 0,0 e 6,0 até 2011, e entre 0,0 e 7,1 após 2011).

Analisando a evolução no intervalo de 2007 a 2017, pode-se constatar que as condições de disposição final variam de ano a ano, em um mesmo município. Ou seja, as soluções não são definitivas e constantes. Visualiza-se que alguns municípios solucionaram a disposição final de forma correta, em um certo ano, e apresentaram problemas em outros. Por exemplo, em 2007 a sub-região Sudeste da RMSP apresentava adequação em relação à disposição final, aparentando ter resolvido a problemática (CETESB, 2008). Porém, com o esgotamento do aterro sanitário localizado no município de Mauá, os municípios voltaram a apresentar adequação parcial com relação a disposição final em 2011 (CETESB, 2012). Apenas em 2014, com a ampliação do aterro de Mauá, foi possível voltar a dispor os resíduos da sub-região Sudeste de forma ambientalmente correta.

Os mapas também mostram a rápida evolução na busca por adequação ambiental. Em 2006, 14 municípios realizavam disposição inadequada de RSU. Por outro lado, em 2017, apenas 1, dos 39 municípios, dispôs de forma inadequada, sendo ele Embu das Artes (CETESB, 2018). Além disso, em 2017, o lixão de Juquitiba, existente por 40 anos, foi fechado¹⁴. Ou seja, 97,5% dos municípios da RMSP já encontraram soluções para dispor seus RSU de forma adequada. Justifica-se essa rápida evolução do sistema:

- i. O vanguardismo da política estadual em relação a RSU no Estado de São Paulo, que elaborou a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo em 2006, anterior às exigências da sua criação com a promulgação da PNRS de 2010;
- ii. A utilização de Termos de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC) pela CETESB, onde tais termos são assinados pelos municípios que apresentam irregularidades na destinação de RSU. Nesses termos são firmados compromissos do município em adequar o sistema a soluções definitivas e regularizadas, além de encerrar os aterros irregulares. (CETESB, 2018);
- iii. Utilização de ações de controles pela CETESB como inspeções, advertências, multas e interdições. Como exemplo, de 2012 a 2017 foram realizadas no total

¹⁴ O Taboanense, **Após pagamento de dívida, lixão de Juquitiba é extinto**. 22 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.otaboanense.com.br/apos-pagamento-de-divida-lixao-de-juquitiba-e-extinto/>. Acesso em julho de 2018.

Percebe-se que os aterros sanitários estão afastados das áreas urbanas da RMSP e próximos de grandes vias de acesso. Em verde, estão apresentados os aterros considerados adequados pelo índice IQC proposto pela CETESB em 2017 e, em vermelho, os aterros inadequados (CETESB, 2018). Para auxiliar a visualização do mapa da Figura 10, acrescenta-se o Quadro 2 com a lista de aterros utilizados pelos municípios da RMSP em 2017 (CETESB, 2018), sendo Guararema, Tremembé, Jambéiro e Rio das Pedras aterros localizados fora da RMSP.

Quadro 2 – Lista dos aterros sanitários que são utilizados pelos municípios da RMSP

Município Localizado	Nome do Aterro	Endereço	Titularidade	Enquadramento IQC	Capacidade Licenciada
Caieiras	Centro de Tratamento de Resíduos - Caieiras	Av. Professor Carvalho Pinto, 207	Particular	Adequado	10000 ton/dia (IQC 2017)
Embu das Artes	Aterro Municipal de Embu das Artes	Estrada da Cooperativa s/n	Público	Inadequado	-
Guararema	Aterro Municipal de Guararema	Estrada da Lagoa Nova, km 8	Público	Adequado	9,9 ton/dia (IQR 2012)
Guarulhos	Aterro Municipal de Guarulhos	Sítio das Pedreiras, s/nº	Público	Adequado	1000 ton/dia (IQC 2016)
Itapevi	Aterro Sanitário - Unidade Itapevi	Av. Presidente Vargas, 405	Particular	Adequado	1800 ton/dia (IQC 2016)
Mauá	Lara Central de Tratamento de Resíduos	Av. Guaraciaba, 430	Particular	Adequado	3500 ton/dia (IQC 2017)
Santa Isabel	Aterro Anaconda	Estrada Velha Santa Isabel, km 3	Particular	Adequado	500 ton/dia (IQC 2016)
Santana de Parnaíba	Aterro Tecipar	Praça Monte Castelo, 4	Particular	Adequado	750 ton/dia (IQC 2017)
Santo André	Aterro Municipal de Santo André	Rua Fernando Costa, s/n	Público	Adequado	650 ton/dia (IQC 2017)
São Paulo	Centro de Disposição de Resíduos Pedreira (CDR)	Estrada Professor Edmundo Rosset, 7450	Particular	Adequado	5500 ton/dia (IQC 2017)
São Paulo	Central de Tratamento Leste (CTL)	Av. Sapopemba, 22254	Público	Adequado	7.000 ton/dia (IQC 2016)
Jambéiro	Unidade de Tratamento e Gestão de Resíduos de Jambéiro (UTGR Jambéiro)	Estr. Mun. Olavo Vieira Vilela, km 4	Particular	Adequado	2000 ton/dia (IQC 2017)
Tremembé	Centro de Gerenciamento de Resíduos Tremembé (CGR Tremembé)	Estr. Municipal Luiz Macedo Barroso, 2630	Particular	Adequado	2000,00 ton/dia (IQC 2017)
Rio das Pedras	Centro de Tratamento de Resíduos (CTR Essencial)	Estrada Municipal de Rio das Pedras, km 6	Particular	Adequado	500 ton/dia (IQC 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CETESB (2018)

Como consequência do afastamento, os sistemas de coleta ficam mais caros, aumenta-se os trajetos dos caminhões de coleta, utiliza-se maiores áreas para a disposição de RSU de diversos municípios, aumenta-se a dificuldade de viabilização de estruturas de maior porte e exporta-se os impactos ambientais de um município para o outro.

Outro ponto importante identificado consiste no fato de que haverá cada vez menos áreas para implantação de aterros sanitários. Existem critérios rigorosos para a implantação dessas infraestruturas urbanas, levantadas por IBAM (2001). Deve-se atentar para diversos critérios técnicos como uso e ocupação do solo, distância de aeroportos, proximidade a aquíferos e cursos d'água, proximidade a zonas residenciais, existência de acesso viário de veículos pesados de grande porte, condições naturais do terreno viáveis e favoráveis, entre outros fatores. Esses critérios estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios técnicos para a seleção de área ideal para a implantação de aterros sanitários

Critérios Técnicos	Observações
Uso do solo	As áreas têm que se localizar onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
Proximidade a cursos d'água relevantes	As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceano. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Proximidade a aeroportos	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
Distância do lençol freático	As distâncias mínimas recomendadas variam conforme a tecnologia empregada, variando a distância mínima do lençol freático da camada de impermeabilização entre 1,5 e 2,5 metros.
Vida útil mínima	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
Permeabilidade do solo natural	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.
Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.

Fonte: Adaptado de IBAM (2001)

Caso seja considerado o Macrozoneamento Metropolitano da RMSP, apresentado no Caderno Final de Propostas do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para a região, que vem sendo desenvolvido desde 2015, verifica-se que sobraram poucas áreas onde a implantação de um aterro sanitário seria recomendada. O Macrozoneamento tem como finalidade estabelecer diretrizes gerais que orientam o planejamento do uso do solo. Regras essas como zonas de consolidação da urbanização, zonas de adensamento urbano, zonas de preservação ambiental, entre outras. Após aplicadas as regras de formação das macrozonas, sobrariam poucos territórios propícios para a implantação de um aterro, como apresentada na Figura 11. As áreas em branco representam os locais potenciais para implantação de aterros, por não serem zonas de conservação ambiental, zonas urbanizadas ou outras zonas protegidas, sobrando áreas realmente escassas e distantes dos centros urbanos geradores dos RSU.

Figura 11 – Macrozoneamento apresentado no caderno de propostas do PDUI da RMSP

Fonte: Adaptada a partir de PDUI (2018)

Por todas as razões apresentadas, conclui-se que a disposição final dos RSU na RMSP já é feita de forma intermunicipal e regionalizada. Porém, as decisões sobre os

locais de implantação de aterros sanitários e as interações entre os sistemas de gestão de RSU são realizadas sem planejamento integrado, pouco transparentes, com baixa participação da sociedade civil e poucos estudos da integralidade do sistema, princípios contrários a uma governança participativa e inclusiva que considera as particularidades dos entes envolvidos (MARSHALL e FARAHBAKHS, 2013). Ou seja, a regionalização dos sistemas surgiu como consequência dos desafios impostos. Mas, como o sistema não foi planejado, estabeleceu-se de uma forma pouco eficiente e otimizada, e seu desempenho e estrutura variam ano a ano.

Para evidenciar esses aspectos, segundo Besen (2011), em 2005, 23 municípios da RMSP exportavam seus RSU. E esse valor passou para 32, em 2009. A configuração dos fluxos intermunicipais mudou completamente em 2015 (Figura 12).

Figura 12 – Mapa com fluxos dos RSU dos municípios da RMSP no ano de 2015

Fonte: Tierno (2017)

Em 2015, com o fim do aterro sanitário de Itaquaquecetuba, foi criado um novo aterro na zona norte de São Paulo, chamado Centro de Disposição de Resíduos (CDR), passando a receber os resíduos da região. Nesse ano, segundo CETESB (2016), seis municípios passaram a encaminhar seus RSU para o aterro CDR. O aterro de Caieiras

recebeu os resíduos de 9 municípios. E o aterro de Mauá centralizou a disposição final de quase toda sub-região Sudeste, recebendo os RSU de seis municípios. Em 2015, 77% dos municípios da RMSP destinam seus resíduos em outro território, ou seja, 30 dos 39 municípios (CETESB, 2016). Sendo que desses 30, 5 municípios encaminharam seus RSU para Tremembé e Jambeiro, ou seja, para fora da RMSP (TIERNO, 2017).

Há também interações intermunicipais entre municípios de fora da RMSP, que encaminham seus resíduos para aterros presentes na região. Em 2017, 17 municípios externos à RMSP destinaram, segundo a CETESB (2018), 943 ton/dia de RSU para a Região Metropolitana de São Paulo. As interações podem ser verificadas na Figura 13. Sete municípios externos à RMSP destinaram seus resíduos ao aterro de Caieiras, inclusive Ilha Comprida, que destina para tal aterro mesmo estando localizado a mais de 200km de distância. Observa-se que não planejar o sistema é um risco muito grande em vista a tantas interações diferentes intermunicipais.

Figura 13 – Mapa da RMSP e municípios vizinhos, com os fluxos de RSU de 2017 dos municípios externos à RMSP que foram destinados para dentro da região

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de CETESB (2018)

Como instrumento de minimização dos RSU a serem encaminhados para disposição final, existem diversos sistemas de valorização e beneficiamento que podem ser efetivados previamente. E a reciclagem é um deles. A relevância da reciclagem cresceu com a dificuldade justamente na implantação de novos aterros, altos custos de coleta e transporte, aproveitamento de material com potencial produtivo e inclusão socialmente justa das organizações de catadores de resíduos sólidos. Principalmente, a reciclagem auxilia na extensão da vida útil dos aterros sanitários, desviando os resíduos para sua recuperação, sobrando apenas o encaminhamento dos rejeitos para os aterros.

A inserção da reciclagem na RMSP não é recente. Porém, sua universalização e adesão populacional vêm enfrentando barreiras. Em 2005, segundo os autores Jacobi e Besen (2006), 23 municípios possuíam programas de coleta seletiva ou estavam ainda em fase de projeto. Ou seja, 58% dos municípios possuíam alguma forma de coleta seletiva, ou por empresas terceirizadas ou por parcerias com organizações de catadores de resíduos sólidos ou com sistemas de coleta municipal. Em 2013, os mesmos autores levantaram novamente essas informações entre os municípios da RMSP, obtendo que 30 municípios realizavam coleta seletiva (BESEN *et al.*, 2014). Portanto, o total de municípios da RMSP com algum programa voltado para coleta seletiva avançou de 58% para 77%, ainda que não universalizado.

Porém, apesar dos avanços, é necessário avaliar a qualidade do conjunto de iniciativas relacionadas à coleta seletiva na RMSP. Besen *et al.* (2014) adotaram um índice que avalia a abrangência da coleta nas áreas urbanas, estruturado em quatro níveis: alta (abrangência superior a 70%), média (abrangência entre 51% e 69,9%), baixa (abrangência entre 25% e 49,9%) e projeto-piloto (abrangência inferior a 25%). Esse índice foi utilizado na avaliação da cobertura do sistema de coleta seletiva. Assim, foram analisadas as abrangências dos 30 municípios da RMSP, levantados por Besen *et al.* (2014), que realizam coleta seletiva, chegando ao resultado de que:

- 7 municípios (23,3%) apresentam alta abrangência;
- 5 municípios (16,7%) apresentam média abrangência;
- 6 municípios (20,0%) apresentam baixa abrangência;
- 12 municípios (40,0%) possuem apenas projetos pilotos.

Verifica-se que os municípios possuem coleta seletiva não necessariamente significa que toda a população está sendo atendida por este serviço. Isso é refletido pelos 12 municípios que possuem apenas projetos-piloto e acabam compondo os indicadores de que possuem coleta seletiva. No total, portanto, 21 municípios ainda não fazem reciclagem ou fazem apenas por meio de projetos-piloto. Reduzem, assim, os bons indicadores de avanço em relação à coleta seletiva na região. Um ponto relevante consiste em que todas as iniciativas de reciclagem que houveram na região partiram dos próprios municípios, não havendo integração e regionalização de estratégias e planos para a reciclagem.

Outro indicador utilizado, também levantado por Besen *et al.* (2014), é a porcentagem de resíduos desviados em massa dos aterros. Ou seja, a quantidade em toneladas de resíduos sólidos que foi reciclado do total gerado. De aproximadamente 21 mil toneladas por dia de RSU coletados na RMSP, em 2012 (BESEN *et al.*, 2014), apenas 3,8% dessa massa foi desviada da disposição final. A conclusão é similar à anterior, sendo explícito o objetivo da gestão pública em aumentar a reciclagem e o longo caminho a ser percorrido na direção de atingi-lo.

Resumindo, no que tange aos aspectos de infraestrutura relacionados à gestão integrada de RSU, percebem-se três etapas norteadoras das ações recentes dos municípios da RMSP:

- i. Uma primeira etapa com ações municipais direcionadas na erradicação das disposições ambientalmente inadequadas com a implantação de aterros sanitários cada vez mais afastados dos centros urbanos;
- ii. Uma segunda etapa com ações visando o incentivo à reciclagem, porém passando por dificuldades na implementação de sistemas universais de coleta seletiva;
- iii. Uma terceira etapa voltada para o aumento da separação dos materiais recicláveis que são desviados dos aterros sanitários por meio do aumento da abrangência dos programas de coleta seletiva, de incentivos a criação e formalização de cooperativas e também da formalização de acordos setoriais de logística reversa;
- iv. Uma quarta etapa direcionada em buscar oportunidades de melhoria da governança metropolitana, com ações regionais e integradas, que será apresentado no item 5.1.2.

financeira quando comparado às despesas totais relacionadas aos serviços públicos de RSU. Na Figura 15 estão apresentadas as porcentagens de autossuficiência financeira dos municípios que possuem taxaço de serviço de gestão de RSU em 2016, calculados a partir de dados do SNIS (2018). O cálculo da porcentagem de autossuficiência financeira foi realizado pela divisão entre o valor total das despesas correntes com serviços de RSU prestados pelo município e o valor total de arrecadação por meio da taxa implantada.

Figura 15 – Porcentagem de autofinanciamento dos municípios das RMSP que possuem instrumentos de cobrança pelos serviços prestados relacionados a RSU

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de SNIS (2018)

Na Figura 15 apresentada fica evidente que apenas São Caetano do Sul e Salesópolis conseguiram arrecadar valor suficiente para cobrir todos as despesas com RSU. Em relação aos demais municípios, com exceção de Santo André, as arrecadações ficam muito aquém à cobertura dos gastos. No caso particular de Juitiba, apesar do município possuir o dispositivo necessário para efetivar a taxa, em 2016 não previu em seu orçamento sua efetivação. Nos demais municípios, existem três justificativas plausíveis para essa grande diferença. A primeira delas consiste no fato da equação proposta de autossuficiência financeira fornecer apenas uma análise comparativa, já que as despesas incluem também as parcelas referentes à prestação pelos serviços de gestão de RSU que não são passíveis de serem cobrados à população. A cobrança pela parcela indivisível, que corresponde aos resíduos provenientes de limpeza urbana, é inconstitucional devido ao fato de não poder ser mensurada de forma individualizada (SNIS, 2018a).

A segunda justificativa consiste na enorme dificuldade dos municípios em executar a apropriação de custos por tipo de serviço. Segundo o SNIS (2018a), a maioria dos municípios possuem os recursos distribuídos em diversas pastas, secretarias, projetos e programas. Isso acarreta que as despesas com a utilização de insumos (veículos e equipamentos), a efetivação de contratos de terceirização e a alocação de pessoal empregado nos serviços se façam de uma maneira pulverizada, sem a devida apropriação do custo. Assim, torna-se recorrente a ausência de organização dos dados em centros de custos específicos. E isso gera dificuldade para se calcular e acompanhar com precisão os valores dos custos referentes aos serviços prestados, podendo estar computando mais ou menos do que o valor real.

O terceiro ponto refere-se à forma da cobrança. Os resíduos domiciliares gerados são passíveis de cobrança devido a serem divisíveis. É possível mensurar a quantidade gerada por unidade habitacional e cobrar sobre tal medida. Porém, o sistema hoje estabelecido não permite tal mensuração de forma individualizada. A forma encontrada para a implantação da taxa foi incorporá-la no boleto do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) ou da água, atrelando o seu cálculo principalmente a área construída ou consumo de água. A consequência é a dissociação da arrecadação com a realidade das despesas com os serviços públicos prestados. Portanto, o que for arrecadado consiste em apenas um auxílio ao município e não a garantia de seu autofinanciamento. Nesse caso, a conta de fato não é paga por quem usufrui do serviço.

Outra análise importante em relação à sustentabilidade financeira consiste na compreensão dos motivos das disparidades entre as despesas *per capita* com gestão de RSU dos municípios que constituem a RMSP, como apresentado na Figura 16. Analisando os dados de despesas *per capita* dos municípios da RMSP, referente ao ano de 2016, percebe-se que 3 municípios apresentam despesas muito altas, sendo acima de 180 R\$/hab, 7 municípios com despesas altas, sendo entre 121 e 180 R\$/hab, 13 municípios com despesas medianas, sendo entre 71 e 120 R\$/hab e apenas 6 municípios com despesas baixas, sendo abaixo de 70 R\$/hab. Sabendo que a média dos municípios da sub-região Sudeste brasileira para esse indicador é de R\$88,69/hab (sem considerar São Paulo, que faz elevar a média para R\$124,41/hab), apenas 10 municípios da RMSP estão abaixo dessa média.

Figura 16 – Despesa *per capita* com Gestão de RSU em relação à população urbana (R\$/hab) referente ao ano de 2016

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de SNIS (2018)

A explicação para os elevados custos com a prestação do serviço de coleta, transporte e disposição de RSU e para essa grande variação das despesas *per capita* não é simples e única. Alguns dos possíveis fatores que corroboram são:

- Especificidades locais, como as distâncias dos locais de coleta ao aterro sanitário, o município possuir ou não aterro municipal, as diferentes dificuldades de acesso a locais de coleta, os diferentes modelos de gestão de cada município, entre outros fatores;
- Diferentes formas de prestação do serviço, alguns municípios realizam de forma direta, em outros casos, por meio de concessão à iniciativa privada;
- A duração das concessões dos serviços altera o valor contratual sendo mais onerosos para os municípios quando realizadas concessões de curto prazo em comparação às concessões de longo prazo;
- Falta de padronização em relação ao pagamento das concessionárias. Algumas concessões apresentam cobrança com preço fixo e outros com preço atrelado à quilometragem, por exemplo;
- Prática de prorrogação dos contratos com as concessionárias por meio de aditivos aumenta as despesas devido a dispensa de processos licitatórios. Aditivos em termos tendem a serem mais caros;

- A falta de real concorrência nos processos de licitação, concentrando as concessões em um número pequeno de empresas que estão aptas a prestarem esse tipo de serviço;
- A ingerência dos custos da gestão de RSU devido à falta da organização dos dados e contratos em centros de custos específicos;
- Apesar do indicador contemplar as despesas relacionadas ao custo da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, alguns municípios realizam a concessão juntamente aos dos Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) e Resíduos de Construção Civil (RCC). Isso aumenta o valor apresentado das despesas e corrobora com o item anterior de não haver segregação por centros de custos específicos.

Se por um lado esses fatores apresentam-se como desafios, todos eles podem ser amenizados ou solucionados por meio de ações mais eficientes em governança. Uma dessas ações consiste na elaboração de instrumentos de planejamento regional. Os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) são instrumentos apropriados para auxiliar na gestão e planejamento dos serviços de RSU de forma regionalizada, visando otimizar a gestão e aumentar a maturidade da governança. Tal instrumento foi apresentado e definido pela PNRS de 2010, sendo importante para o planejamento e gestão municipal de seus serviços de RSU. O município também pode optar por incluir o PGIRS no Plano Municipal de Saneamento, contemplando seu conteúdo mínimo. Já os municípios com até 20 mil habitantes, podem apresentar conteúdos simplificados (BRASIL, 2010). Outra possibilidade consiste na elaboração de planos intermunicipais, microrregionais ou de regiões metropolitanas.

Para todos esses casos apresentados, a PNRS elenca o conteúdo mínimo exigido em 19 tópicos, sendo extenso e exigente, demonstrando que de fato é um instrumento que pode auxiliar no planejamento e gestão dos resíduos sólidos dos municípios. Dentre as exigências, ressalta-se o requisito de se realizar um diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados, importante para iniciar o planejamento de um sistema de gestão de RSU. Também se exige a identificação de possíveis soluções consorciadas ou compartilhadas entre municípios, sendo justificada quando gerada economia de escala, quando há proximidade dos locais estudados e quando há prevenção de riscos ambientais (BRASIL, 2010).

Outro tópico exigido consiste na determinação de procedimentos operacionais e especificações mínimas que devem ser adotados por prestadores de serviço, sendo estes de forma direta ou indiretamente. Esse tópico é importante principalmente quando há concessão dos serviços, pois orienta como será realizada a regulação imposta às concessionárias. Ressalta-se a importância de se estabelecer um período de revisão do plano, aconselhando seguir a vigência dos planos plurianuais municipais para a inclusão das previsões de gastos com as infraestruturas e sistemas previstos nos PGIRS. Outra consideração relevante consiste na exigência em realizar estudos relacionados aos cálculos de custos e formas de cobrança pelos serviços prestados pelo município, auxiliando justamente a incentivar os municípios a buscarem por fontes de recursos e melhorar suas formas de arrecadação. Para analisar a evolução do uso desse instrumento, os municípios da RMSP que elaboraram PGIRS foram levantados para os anos de 2013 e 2016, sendo apresentados os resultados no Quadro 4. Também constam os municípios que incluíram o PGIRS no Plano Municipal de Saneamento.

Verifica-se que 17 municípios da RMSP declararam, em 2013, ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), possuírem PGIRS elaborados (MMA, 2013). Nesse mesmo ano, outros 12 municípios sem PGIRS apresentaram as diretrizes de resíduos sólidos incorporadas no Plano de Saneamento Básico (MMA, 2013). Com isso, 74% dos municípios já haviam cumprido com a exigência de realizar planejamento da gestão de RSU. Porém, desse total, 30% dos municípios não utilizaram o instrumento específico para resíduos sólidos, que, sendo um instrumento mais direcionado, apresenta conteúdo mais exigente e completo. Já em 2016, 64%¹⁵ dos municípios declararam ao SNIS (2018) que elaboraram seus PGIRS, aumentando a taxa de cumprimento por todos os municípios da RMSP, porém em ritmo lento.

¹⁵ O Quadro 4 aponta que o município de Itapeverica da Serra elaborou PGRIS em 2013, porém não elaborou em 2016. Esse dado de 2016, que é fornecido pelo próprio município ao Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS), é incorreto pois o município apresenta revisão de seu plano em 2015, podendo ser acessado através de www.arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2017/05/itapecirica-da-serra.pdf. Mesmo sendo revisado, optou-se por apresentar no Quadro 4, os dados como foram de fato coletados no SNIS.

Quadro 4 – Municípios da RMSP com Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborados em 2013 e 2016

Nome do município	População estimada ^a	Municípios com PGIRS nos termos estabelecidos na PNRS		Plano de Saneamento Básico contempla os serviços de resíduos sólidos (2013) ^b
		2013 ^b	2016 ^c	
ARUJA	83.939	Não	Não	Não
BARUERI	262.275	Não	Não	Sim
BIRITIBA-MIRIM	31.158	Sim	não declarou	Sim
CAIEIRAS	95.780	Não	Não	Não
CAJAMAR	71.805	Não	Não	Sim
CARAPICUIBA	392.294	Sim	não declarou	Não
COTIA	229.548	Não	Sim	Não
DIADEMA	412.428	Não	Sim	Sim
EMBU	261.781	Sim	Sim	Não
EMBU-GUACU	67.296	Não	não declarou	Não
FERRAZ DE VASCONCELOS	184.700	Não	Sim	Sim
FRANCISCO MORATO	168.243	Não	Não	Não
FRANCO DA ROCHA	145.755	Não	Não	Não
GUARAREMA	28.344	Sim	Sim	Sim
GUARULHOS	1.324.781	Sim	Sim	Sim
ITAPECERICA DA SERRA	167.236	Sim	Não	Não
ITAPEVI	223.404	Sim	Sim	Não
ITAQUAQUECETUBA	352.801	Não	Sim	Sim
JANDIRA	118.832	Não	Sim	Sim
JUQUITIBA	30.642	Não	Sim	Sim
MAIRIPORA	92.323	Sim	não declarou	Sim
MAUA	453.286	Sim	Sim	Sim
MOGI DAS CRUZES	424.633	Não	Sim	Sim
OSASCO	694.844	Sim	Sim	Sim
PIRAPORA DO BOM JESUS	17.646	Não	não declarou	Não aplicável
POA	113.793	Não	Sim	Sim
RIBEIRAO PIRES	120.396	Sim	Sim	Não
RIO GRANDE DA SERRA	48.302	Sim	Sim	Não aplicável
SALESOPOLIS	16.688	Sim	Sim	Não aplicável
SANTA ISABEL	54.926	Sim	Sim	Não
SANTANA DE PARNAIBA	126.574	Não	Não	Não aplicável
SANTO ANDRE	710.210	Não	Sim	Sim
SAO BERNARDO DO CAMPO	816.925	Sim	Sim	Sim
SAO CAETANO DO SUL	158.024	Não	Sim	Não
SAO LOURENCO DA SERRA	15.177	Sim	não declarou	Sim
SAO PAULO	11.967.825	Não	Sim	Sim
SUZANO	285.280	Sim	Sim	Não
TABOAO DA SERRA	272.177	Não	Sim	Sim
VARGEM GRANDE PAULISTA	48.720	Não	Sim	Não
total de municípios que elaboraram PGRS		44% de municípios possuem PGRS (2013)	64% de municípios possuem PGRS (2016)	51% com Plano de saneamento que contempla RS

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ^a IBGE (2017); ^b MMA (2013); ^c SNIS (2018)

Como os planos de resíduos sólidos são um importante instrumento de planejamento e gestão, o cenário apresentado é preocupante. Por um lado, a PNRS não define a elaboração dos PGIRS como sendo obrigatória, o que, caso o fosse, estimularia sua elaboração. Por outro lado, a PNRS restringiu, a partir de 2010, o acesso a recursos da União aos municípios que tiverem elaborado o plano de gestão de resíduos sólidos.

Tais recursos podem ser solicitados para a execução de “empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010). O Quadro 5 apresenta os municípios que utilizaram recursos federais entre 2012 e 2016.

Quadro 5 – Municípios da RMSP que utilizaram recursos federais para a elaboração de infraestrutura relacionada a gestão de resíduos sólidos entre os anos de 2012 e 2016

Ano	Município	Tipo de recurso	Valor (R\$)	Em que foi aplicado o recurso
2012	Diadema	Oneroso (financiamento)	910.305,66	Reforma de estação de transbordo de resíduo domiciliar
	Embú das Artes	Não oneroso (a fundo perdido)	646.800,00	Construção de galpão de triagem para os catadores
2014	Embú das Artes	Não oneroso (a fundo perdido)	619.967,58	Implantação de galpão de triagem de Materiais Eletrônicos
	Guarulhos	Não oneroso (a fundo perdido)	261.695,90	Compra de equipamentos
	São Paulo	Não oneroso (a fundo perdido)	2.975.000,00	-
	Embú das Artes	Não oneroso (a fundo perdido)	354.813,94	-
2015	Guarulhos	Oneroso (financiamento)	415.169,22	Construção de PEV e obras de implementação de ATT
2016	Osasco	Não oneroso (a fundo perdido)	867.223,00	Construção de centrais de triagem

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de SNIS (2018)

Nesse período, cinco municípios da RMSP utilizaram recursos federais para a elaboração de empreendimentos voltados a gestão de RSU, totalizando cerca de 7 milhões de reais investidos em infraestrutura (Quadro 5). Tal incentivo financeiro se mostra uma forma efetiva de estimular a elaboração dos planos, fazendo a ligação entre as infraestruturas que são planejadas e previstas nos planos, com a sua viabilidade financeira através de recursos federais. Podem ser citados como exemplos o transbordo realizado em Diadema (SNIS, 2014) e a central de triagem em Osasco (SNIS, 2018). E, assim, encontra-se nos recursos da União uma alternativa interessante para a viabilização de iniciativas integradas, o que ainda não tem sido realizado pelos municípios da RMSP especificamente para estruturas regionais voltadas para a gestão de RSU, como mostrado no Quadro 5 ao apresentar aplicação financeira em apenas projetos municipais individualizados.

Uma outra forma de planejamento integrado, além dos PGIRS, consiste na organização dos municípios em consórcios intermunicipais. Antes mesmo das subdivisões da RMSP em 2011, municípios que possuíam afinidade e sistemas interligados formaram consórcios para a discussão e união de planejamentos estratégicos regionais. Em sua maioria, os consórcios coincidem com a organização em sub-regiões da RMSP. Segundo Padilha (2018), a região conta com cinco

consórcios existentes, sendo apresentados seus respectivos anos de criação no Quadro 6 e seus municípios participantes em sequência.

Quadro 6 – Consórcios intermunicipais existentes nas sub-regiões da RMSP com seus respectivos anos de criação

Sub-Região	Consórcio	Ano de Criação
Norte	Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Bacia do Juqueri (CIMBAJU)	2005
Leste	Consórcio de Desenvolvimento dos Municípios do Alto Tietê (CONDEMAT)	2010
Sudeste	Consórcio Intermunicipal do Grande ABC	1990
Sudoeste	Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo (CONISUD)	2001
Oeste	Consórcio Intermunicipal da Região Oeste Metropolitana de São Paulo (CIOESTE)	2013

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Padilha (2018)

- **Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo (CONISUD):** Cotia, Embu das Artes, Embu Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista;
- **Consórcio de Desenvolvimento dos Municípios do Alto Tietê (CONDEMAT):** Arujá, Biritiba Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano;
- **Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Bacia do Juqueri (CIMBAJU):** Cajamar, Caieiras, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã;
- **Consórcio Intermunicipal da Região Oeste Metropolitana de São Paulo (CIOESTE):** Barueri, Jandira, Carapicuíba, Osasco, Cotia, Pirapora do Bom Jesus, Itapevi, Santana de Parnaíba, Vargem Grande Paulista e Araçariguama;
- **Consórcio Intermunicipal do Grande ABC:** Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra.

Nas discussões que ocorrem entre os municípios participantes dos consórcios, apareceram recentemente iniciativas de inclusão de ações voltadas para integração da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. O Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo (CONISUD), constituído em 2008, como exemplo, acrescentou em seu Planejamento Plurianual (PPA) para o período de 2014 a 2017 (CONISUD, 2014): Elaborar os Planos Municipais de Resíduos Sólidos dos municípios do CONISUD; Implantar as obras já previstas e construir planta de tratamento de RSU; Elaborar estudo sobre possibilidade logística e econômica de adoção de solução consorciada.

Já o Consórcio de Desenvolvimento dos Municípios do Alto Tietê (CONDEMAT), que representa a sub-região Leste, desenvolveu, em 2013, o Plano Regional de Gestão de Resíduos Sólidos dos Municípios do Alto Tietê – Cabeceiras, com auxílio de recursos do Estado de São Paulo. Viabilizou, assim, o planejamento com custeio pelo Estado, apesar do plano não ter sido posteriormente efetivado (SANTO ANDRÉ, 2016). Os municípios da sub-região Norte, por sua vez, se organizaram em torno do Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Bacia do Juquary (CIMBAJU) em 2015, realizando algumas atividades em conjunto como, por exemplo, a busca por soluções regionais para a mobilidade urbana¹⁶ e a busca por soluções integradas de passivos e déficits na área habitacional¹⁷. Porém ainda não apresentaram interesse em buscar alternativas integradas para a gestão de RSU.

Com relação aos municípios da sub-região Oeste, estes se associaram ao Consórcio Intermunicipal da Região Oeste Metropolitana de São Paulo (CIOESTE), com a particularidade de haver outros municípios além dos que estão localizados na sub-região Oeste da RMSP (os municípios Araçariguama, Cotia e Vargem Grande Paulista também participam do consórcio). Criado em 2013, os municípios que constituem o CIOESTE assinaram um Protocolo de Intenções no mesmo ano, onde afirmaram que uma das finalidades específicas do consórcio consiste em “atuar na implantação de um sistema integrado de gestão e destinação final de resíduos industriais, residenciais, da construção civil e hospitalares”¹⁸. Porém ainda não foram apresentados estudos ou planos regionais para gestão integrada de RSU.

A sub-região mais avançada consiste na Sudeste, sub-região que possui o Consórcio Intermunicipal do Grande ABC desde 1990, o mais antigo do Brasil. Por meio do consórcio, o “Plano Regional de Gestão de Resíduos Sólidos do Grande ABC” foi elaborado no final de 2016. O Plano diagnostica todos os sistemas de gestão de RSU da sub-região, apresenta os desafios da regionalização dos sistemas, estabelece

¹⁶ Jornal Primeira Impressão, **Presidente do CIMBAJU, Prefeito Gersinho Romero, se reúne com empresários em busca de soluções para a mobilidade urbana**. 23 de abril de 2018. Disponível em: www.jornalprimeiraimpressao.com/site/?p=20038. Acesso em janeiro de 2018.

¹⁷ Jornal Primeira Impressão, **Habitação ganha prioridade na agenda dos prefeitos do CIMBAJU**. 20 de junho de 2018. Disponível em: <http://www.jornalprimeiraimpressao.com/site/?p=20790>. Acesso em janeiro de 2018.

¹⁸ Protocolo de Intenções, **Protocolo de Intenções celebrado pelos municípios de Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Santana de Parnaíba e Cotia, visando a constituição do Consórcio Intermunicipal da Região Oeste Metropolitana de São Paulo, CIOESTE**. 17 de outubro de 2013. Disponível em: http://www.cioeste.ecomm.com.br/wp-content/uploads/2016/11/Protocolo-de-Intenções_Cioeste.pdf. Acesso em janeiro de 2018.

diversas diretrizes para a sua integração, indica possíveis arranjos institucionais e estabelece a governança para colocar o plano em prática (SANTO ANDRE, 2016).

Assim, no âmbito da governança da RMSP, percebe-se que houve a ocupação do vazio em relação ao planejamento integrado, pela organização sub-regionalizada. Vazio existente principalmente devido à ausência de regulação anterior ao Estatuto da Metrópole, que auxiliou a transformar os consórcios em importantes instrumentos para a realização de planejamentos regionais, ainda mais tratando-se de resíduos sólidos. Na própria escala metropolitana, entretanto, constata-se a ausência de um Plano Metropolitano atualizado para a gestão de resíduos sólidos de São Paulo. O que seria interessante sua realização com a compatibilização com o macrozoneamento metropolitano, aprovado em 2018 como parte do PDUI da RMSP.

Nesse sentido, pós Estatuto da Metrópole, surge resíduos sólidos na agenda metropolitana paulista. A minuta de projeto de lei do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) da RMSP, que está em processo de instituição devido à exigência do Estatuto da Metrópole de 2015, estabelece como uma diretriz do eixo ambiental “incentivar soluções regionais para o tratamento e a disposição dos resíduos sólidos” (PDUI, 2018). Necessidade motivada, segundo o próprio caderno preliminar do PDUI (2017), pelos seguintes fatores:

adensamento e conurbação da rede urbana regional, as legislações cada vez mais restritivas e as consequentes dificuldades de obtenção de áreas adequadas à disposição e ao tratamento dos resíduos (PDUI, 2017)

Sob tal justificava, incorporou-se uma proposta estruturante relacionada a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no “Caderno Final de Propostas” do PDUI. Foram apresentadas 32 Propostas Estruturantes (PEs) no caderno final, sendo que a PE-012 é exclusivamente relacionada à problemática da gestão de Resíduos Sólidos no âmbito metropolitano da RMSP (PDUI, 2018). A proposta estruturante salienta a necessidade da elaboração de um Plano Metropolitano de Gestão de Resíduos Sólidos para a RMSP, sendo elencadas as Ações Estratégicas que deverão compor o plano (Quadro 7).

Quadro 7 – Ações Estratégicas referentes à gestão regionalizada de RSU para a RMSP

Proposta Estruturante 012 - Ações Estratégicas
Definir metas regionais, considerando a ordem de prioridade da gestão dos resíduos sólidos.
Propor arranjos institucionais intermunicipais para a gestão integrada dos resíduos sólidos, considerando os diferentes tratamentos e destinações previstas, integrando também os planos estadual, municipais e regionais existentes.
Identificar áreas regionais para a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos.
Implantar centros regionais para o transbordo, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.
Promover a melhoria das condições dos aterros sanitários, com a efetiva fiscalização e o controle da poluição, bem como o aproveitamento energético dos gases gerados.
Indicação de mecanismos visando à redução da quantidade de resíduos a serem efetivamente descartados, como a inserção da coleta seletiva, reciclagem, utilização de fontes renováveis, tecnologias de baixo impacto ambiental e compras sustentáveis.
Universalizar a coleta seletiva domiciliar e expandir a reciclagem de resíduos sólidos urbanos, com aproveitamento da cadeia de reciclagem de catadores.
Incentivar a regularização e a contratação de cooperativas de reciclagem, com a inserção dos catadores avulsos, a fim de que ocorra a inclusão social, econômica e produtiva dos catadores de materiais recicláveis, levando em consideração o inciso XXVII do art. 24 da Lei nº 8.666/1993.
Criação de uma política regional de apoio técnico, capacitação, mobilização regional e integração das redes de comercialização das cooperativas de catadores (as) e centrais de triagem, alinhada à política regional de economia solidária.
Articular a efetiva implantação da logística reversa, priorizando a cadeia de reciclagem de catadores, com metas de curto, médio e longo prazo.
Fomentar a efetiva responsabilização dos geradores, por meio da elaboração dos respectivos planos de gerenciamento de resíduos sólidos.
Tratamento dos resíduos orgânicos, incentivando a compostagem residencial e metropolitana.
Criação de agência reguladora estadual e/ou autarquia para gestão de resíduos sólidos na RMSP.
Estudo de viabilidade técnica e econômica da proposta.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de PDUI (2018)

As ações referentes especificamente a gestão de RSU são voltadas à resolução de muitos dos desafios aqui apresentados, como, por exemplo, priorizar por soluções integradas de tratamento, expandir a coleta seletiva regional, propor novos arranjos intermunicipais para ser executada gestão integrada, entre outras propostas elencadas. Sendo ações que deverão ser incluídas em possível plano metropolitano.

O último aspecto a ser analisado em relação a gestão de RSU da RMSP é relacionado às estruturas formais da governança metropolitana. No caso da RMSP, a estrutura clara de governança das Funções Públicas de Interesse Comum da região metropolitana foi regulamentada pela Lei Estadual nº 1.139 de 2011. A lei avançou com a criação de importantes instrumentos de controle, planejamento e gestão, principalmente com a instituição do Fundo de Desenvolvimento Metropolitano e do Conselho de Desenvolvimento.

O Fundo de Desenvolvimento da RMSP, regulado pela lei de 2011 e instituído pelo Decreto Estadual nº 59.094 de 2013, foi criado com a finalidade de “dar suporte financeiro ao planejamento integrado e às ações conjuntas dele decorrentes” (SÃO PAULO, 2013), com os recursos a serem aplicados de acordo com as deliberações do Conselho de Desenvolvimento e fiscalizados por um Conselho de Orientação.

Como o Estatuto da Metrópole não instituiu o Fundo Nacional de Desenvolvimento Urbano Integrado, o Fundo Metropolitano tornou-se uma alternativa clara para viabilizar grandes projetos estruturantes interfederativos. Contudo, ainda há impasses nos critérios a serem estabelecidos para a arrecadação e alocação dos recursos. Do ponto de vista da arrecadação, o artigo 157 da Constituição do Estado de São Paulo prevê a destinação de recursos pelo Estado e pelos municípios.

O Estado e os Municípios destinarão recursos financeiros específicos, nos respectivos planos plurianuais e orçamentos, para o desenvolvimento de funções públicas de interesse comum (...) (SÃO PAULO, 1989)

Porém, segundo Costa *et al.* (2018), como a adesão à estrutura de financiamento é uma prática discricionária, não existem garantias de continuidade. Ainda mais em situações onde os municípios envolvidos podem apresentar instabilidade financeira. Criar critérios de arrecadação que considerem as assimetrias entre os entes e os cenários de conflitos políticos é de extrema complexidade.

Já do ponto de vista da alocação dos recursos arrecadados, o impasse principal é relativo à falta de diretrizes que guiem os investimentos em projetos metropolitanos. É possível que seja um impasse prestes a ser solucionado com a instituição do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, que consiste na “principal referência para alocação de recursos orçamentários, do ponto de vista interfederativo” (SÃO PAULO, 2016). A minuta de Projeto de Lei que institui o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da RMSP já foi encaminhada ao Legislativo no dia 04 de dezembro de 2018, apresentando quais são as Funções Públicas de Interesse Comum priorizadas para a RMSP e as Diretrizes que irão orientar os investimentos do fundo. Dentre elas, há diretriz dentro do eixo “Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos” específica para RSU: “xii. Incentivar soluções regionais para o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (PDUI, 2018a).

Nesse âmbito de governança, deve-se considerar também o papel exercido pelo Conselho de Desenvolvimento, regulamentado pela Lei Estadual nº 1.139 de 2011. Esse conselho, composto pelos prefeitos dos municípios que compõem a RMSP e por representantes do Estado, tem a função de deliberar e instruir sobre as decisões encaminhadas para a sua apreciação como, por exemplo:

- Aprovar objetivos, metas e prioridades de interesse regional;
- Definir as funções públicas de interesse comum entre os Municípios e o Estado;
- Propor formas de arrecadação para o Fundo de Desenvolvimento;
- Constituir Câmaras Temáticas que devem realizar estudos, pesquisas, projetos e atividades relativas às funções públicas de interesse comum.

Além disso, o “Caderno Final de Propostas” do PDUI apresenta a futura estrutura de governança da RMSP e qual seria sua interação com o PDUI (Figura 17), onde além dos instrumentos apresentados, há também a apresentação de um Sistema de Planejamento e Gestão do PDUI, que, basicamente, visa armazenar, acompanhar e avaliar a aplicação do Plano. E a apresentação da Câmara Temática de Gestão do PDUI, que pauta as prioridades e decisões do Conselho de Desenvolvimento com análises e discussões técnicas dos projetos do PDUI e fortalece ações que permitam os aportes de recursos pelos municípios ao Fundo de Desenvolvimento.

Figura 17 – Sistema de Planejamento e Gestão Metropolitano criado para a RMSP

Fonte: PDUI (2018)

Em suma, avaliar a estrutura de governança da RMSP é atividade complexa devido às muitas mudanças recentes. A priori, tem-se a disposição diversos instrumentos e pouca efetividade. O fundo ainda é frágil e precisa superar as dificuldades políticas e a instabilidade financeira dos municípios e do Estado, além de estabelecer seu

regimento interno para esclarecer como funcionará a arrecadação e os repasses. Quanto ao principal instrumento direcionador das diretrizes e das alocações de recursos, o PDUI ainda está em fase final de institucionalização, não sendo possível avaliar sua efetividade.

E especificamente relacionado à gestão de resíduos sólidos urbanos, dentro da estrutura atual de governança da RMSP, há apenas a apresentação inicial de Ações Estratégicas no “Caderno Final de Propostas” do PDUI, como as apresentadas no Quadro 7, e diretriz a ser institucionalizada na minuta de Projeto de Lei que institui o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da RMSP. E ao serem analisadas as atas das reuniões das câmaras temáticas, que estão disponíveis online, a temática de resíduos sólidos foi muito pouco abordada¹⁹. Logo, em relação à governança dos serviços de RSU na RMSP, pode-se resumir esse item 5.2 nos seguintes pontos:

- Ainda é evidente a precária autossuficiência financeira dos municípios em relação à prestação dos serviços de gestão de RSU, onde a maioria dos municípios não preveem fontes de arrecadação pelo serviço prestado;
- Os custos dos serviços prestados pelos municípios são muito altos, e a disparidade entre as despesas dos municípios aponta para uma alerta na forma de concessão dos serviços às concessionárias privadas. Além disso, há necessidade de estudos relacionados a concessões regionais;
- Muitos municípios ainda não realizam o devido planejamento por meio de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. Apenas a sub-região Sudeste apresenta plano regional e ainda não há Plano Metropolitano atualizado;
- Houve movimentação voluntária para a formação de consórcios, porém ainda com estruturas fragmentadas e frágeis em algumas sub-regiões;
- Instituição em andamento do PDUI, considerando prioridade a criação de Plano Metropolitano de resíduos sólidos para a RMSP, com a apresentação de ações estratégicas para a adequação da gestão de RSU nos municípios da RMSP;
- Projetos estruturantes metropolitanos podem contar com o apoio financeiro do Fundo de Desenvolvimento Metropolitano, apesar de ainda não haver critérios de alocação e arrecadação dos recursos para o fundo;

¹⁹ EMPLASA, **Plataforma da Emplasa com as atas das câmaras temáticas**. Disponível em: <https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP/Camaras> Acesso em novembro de 2018.

- Proposta sólida de estrutura de governança para a RMSP, propondo espaço para discussão sobre as funções públicas de interesse comum, como é o caso dos resíduos sólidos, em Câmaras Temáticas e na Câmara de Desenvolvimento. Mas ainda em fase de implementação, havendo muitas discussões por ocorrer.

5.2 DEFINIÇÃO PELA ANÁLISE SUBREGIONALIZADA

Apresentados os diagnósticos relativos aos aspectos de infraestrutura e de governança para a Gestão Integrada de RSU da RMSP, percebe-se que há grande perspectiva de investigar e propor soluções para a integração da gestão dos RSU em âmbito metropolitano, principalmente porque:

- A RMSP é o maior aglomerado urbano brasileiro e o maior gerador de resíduos sólidos urbanos do país;
- Os municípios possuem conurbações que estabelecem continuidade urbana, de análise complexa, e possivelmente se beneficiariam da gestão realizada de maneira integrada;
- Há preocupação com a vida útil dos aterros sanitários, sendo, portanto, importante a gestão dos recursos de maneira integrada e otimizada, além do fomento ao tratamento e reaproveitamento de RSU;
- Existem interações intensas entre municípios, de diferentes níveis de tomada de decisão, exigindo soluções integradas;
- Existem muitos estudos e dados sobre a região, que embasam os estudos;
- Vivencia-se o momento de discussão e elaboração do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para a RMSP, com a devida atenção aos resíduos sólidos como uma função pública de interesse comum;
- A disponibilidade de diferentes instrumentos que compõe o sistema de governança da região;
- Existe uma clara necessidade de investigação de formas mais eficientes para o financiamento dos serviços de gestão de RSU nos municípios, que podem ser viabilizadas com arranjos interfederativos.

Por outro lado, a complexidade de diferentes escalas interfederativas atuantes no mesmo espaço, os conflitos políticos entre os municípios, a falta de estruturas

financeiras que viabilizem grandes infraestruturas metropolitanas e as intensas integrações demandadas entre os sistemas de gestão de RSU, dificultam a formulação de análises do potencial de integração para a Região Metropolitana como um todo. Entende-se que a estrutura rígida da Região Metropolitana de São Paulo deve subsidiar e não substituir arranjos realizados voluntária e espontaneamente pelos próprios municípios, criados para solucionar as necessidades locais específicas de planejamento, gestão e governança.

E o Estatuto da Metrópole também reconhece que a cooperação interfederativa é o caminho a ser trilhado na gestão e governança metropolitana (COSTA, 2018), apesar de não determinar como devem ser realizados os arranjos jurídico-institucionais necessários. Existem muitas possibilidades de articulações horizontais entre os municípios e articulações verticais entre os municípios e os consórcios, a Região Metropolitana, o estado e a União.

Dado os desafios, o tamanho e a complexidade da RMSP, conforme apontado anteriormente, faz-se necessária a busca de soluções sub-regionalizadas. Trata-se da possibilidade de atuação em uma escala que considere as características locais e, ao mesmo tempo, consiga integrar instrumentos, estruturas de governança e políticas dos municípios participantes da sub-região com os da União, Estado e metrópole. Também levando em consideração as maiores similaridades, afinidades e interações entre os municípios que compõem uma sub-região da RMSP, as análises futuras tornam-se mais realistas no sentido de implementação.

Optou-se, portanto, por analisar a sub-região Sudeste da RMSP, entendida como um estudo de caso relevante para se buscar estratégias aplicáveis à sua realidade, mas também passíveis de serem adaptadas e utilizadas em outras sub-regiões da RMSP, ou mesmo em outras regiões metropolitanas brasileiras. Escolheu-se a sub-região Sudeste pois esta apresenta grande disponibilidade de dados, número menor de municípios que as demais sub-regiões, consórcio regional consolidado, longa maturidade de diálogo entre os municípios e Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos elaborado. Esses fatores foram determinantes para subsidiar as análises do potencial de integração, o que não ocorreria caso fosse realizada para uma sub-região onde seria necessário estimar muitos dados.

5.3 DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP

Como apresentado anteriormente, a sub-região Sudeste da RMSP foi institucionalizada pela Lei Complementar Estadual nº 1.139, aprovada em 2011, sendo constituída por sete municípios: São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Santo André, São Bernardo do Campo, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra. A análise para essa sub-região foi novamente dividida entre os aspectos relacionados a infraestrutura e os aspectos de governança.

5.3.1 ASPECTOS DE INFRAESTRUTURA DA GESTÃO DE RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE

A sub-região possui dois aterros sanitários (Figura 18): o aterro municipal de Santo André, chamado de Central de Tratamento de Resíduos (CTR) e o aterro privado localizado em Mauá, chamado Lara Central de Tratamento de Resíduos Ltda.

Figura 18 – Infraestruturas de destinação e tratamento de RSU presentes nos municípios que compõem a sub-região Sudeste da RMSP

Fonte: Adaptada pelo autor a partir de Santo André (2016)

Santo André destinou, em 2015, para seu próprio aterro municipal, 637 ton/dia (SNIS, 2017), não recebendo resíduos de nenhum outro município. Em relação aos seis

demais municípios, estes destinaram para o aterro Lara Central de Tratamento, gerando juntos, em 2015, aproximadamente 1.687 toneladas diárias (SNIS, 2017), como apresentado na Figura 19. Apenas São Bernardo do Campo gerou 44% desse valor. O município da sub-região Sudeste que menos contribui para a disposição de RSU em aterro é Rio Grande da Serra, que gerou apenas 20,7 ton/dia (SNIS, 2017).

Figura 19 – Quantidade de RSU gerados pelos municípios da sub-região Sudeste em 2015 (ton/dia) e comparação entre municípios

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de SNIS (2017)

O aterro CTR, do município de Santo André, iniciou sua operação em 1986²⁰, sendo um dos últimos aterros públicos da RMSP, junto com os aterros municipais de Guarulhos e São Paulo e os aterros municipais inadequados de Osasco e Embu das Artes (CETESB, 2018).

O aterro foi bem avaliado pela CETESB entre 2003 e 2008. Entretanto, em 2010, o aterro foi interditado pela CETESB devido principalmente ao sistema insuficiente de tratamento de chorume e a inadequação do cobrimento dos resíduos (CETESB, 2010a). Isso é evidenciado pelo acompanhamento das notas de IQR realizado pela CETESB entre 2003 e 2017 (Figura 20). Em 2009 atribuiu-se nota 6,1 de IQR, o que justificou sua interdição no ano seguinte. Entre 2011 e 2013 foram realizadas as adequações exigidas e, em 2014, o aterro CTR voltou a funcionar após novo licenciamento, instalação de central de reciclagem e obras de expansão completadas (SANTO ANDRE, 2016). Com a expansão, o aterro passou de 182 mil m² (CETESB, 2004a) para 280 mil m²²¹ em 2018.

²⁰ Prefeitura de Santo André. **Santo André tem melhor aterro público da região metropolitana de São Paulo**. 13 de julho de 2017. Disponível em: <http://www2.santoandre.sp.gov.br/index.php/noticias/item/11350-santo-andre-tem-melhor-aterro-publico-da-regiao-metropolitana-de-sao-paulo>. Acesso em novembro de 2017.

²¹ Cálculo de expansão elaborado por imagem de Google Earth, acessado em janeiro de 2019.

Figura 20 – Acompanhamento do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) para o aterro de Santo André entre os anos de 2003 e 2017

IQR - Aterro Municipal de Santo André

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de CETESB (2003a a 2018a)

A partir de 2014, o aterro de Santo André voltou a receber os RSU de seu próprio município, adquirindo licença para dispor, diariamente, 650 toneladas de resíduos sólidos (CETESB, 2018a).

Durante o período entre 2010 e 2013, sem poder utilizar seu próprio aterro municipal, Santo André destinou seus RSU para Mauá, em aterro chamado Lara Central de Triagem. Ao contrário do CTR de Santo André, o aterro Lara localizado em Mauá, é particular. Iniciou sua operação em 1991, sendo implantado em uma antiga cava de areia da região (MAUÁ, 2012). Em 2017, recebeu os RSU de seis municípios da sub-região Sudeste, assim como recebeu também os RSU de Itanhaém e Juquiá, ambos municípios localizados fora da RMSP (CETESB, 2018). Possui licença para receber 5 vezes mais que o aterro de Santo André, podendo receber 3500 ton/dia.

O aterro sempre foi bem avaliado pela CETESB como pode ser comprovado com as notas de IQR atribuídas entre 2003 e 2017 (Figura 21), não tendo interrupção na operação durante esse período. Obteve, em 2014, licenciamento de instalação para a expansão do aterro, somando mais 280 mil m² ²² aos 364 mil m² antes já utilizados (CETESB, 2004b) e expandindo a vida útil em 15 anos. Além disso, ao contrário do aterro de Santo André que se encontra em local que inviabiliza a sua expansão, o aterro Lara ainda conseguiria realizar outros projetos de expansão. Porém dependeria da compra de terrenos que hoje são da AES Eletropaulo ²².

²² Mauá News, **Após nove anos, Lara vai ampliar o principal aterro sanitário da região**. 28 de outubro de 2014. Disponível em: <http://www.mauanews.com.br/noticia-45224.html>. Acesso em novembro de 2018.

Figura 21 – Acompanhamento do Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) para o aterro Lara Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Ltda. entre os anos de 2003 e 2017

IQR - Aterro Lara Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Ltda

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de CETESB (2003b a 2018b)

Nos últimos 15 anos, a sub-região Sudeste utilizou prioritariamente os dois aterros sanitários, que podem esgotar em um futuro próximo. Obviamente que outras soluções devem ser priorizadas, como reciclagem, acordos setoriais de embalagem e políticas de redução da geração. Porém, a implantação de um novo aterro sanitário é inevitável a longo prazo. E a sub-região Sudeste apresenta um cenário alarmante em relação a essa questão pois não há opções de novas áreas para a instalação de futuros aterros sanitários. Segundo o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC (PRGIRS-ABC), os sete municípios apresentam as seguintes condições que inviabilizam a implantação de novos aterros na sub-região (SANTO ANDRE, 2016):

- **Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra:** De acordo com a Lei Estadual nº 13.579 de 2009, ambos municípios estão integralmente ocupados pela Área de Proteção e Recuperação de Mananciais da represa Billings (APRM-B), inviabilizando a construção de aterros nesses municípios;
- **São Caetano do Sul:** consiste no município de menor tamanho da sub-região Sudeste, com 15,3 km² de área e se encontra completamente urbanizado. Além disso, devido a sua proximidade ao aeroporto de Congonhas, o município se encontra também em área de segurança Aeroportuária, inviabilizando a implantação de aterros no município;
- **São Bernardo do Campo:** o município possui 53% de seu território em APRM-B e 10% em Parque Estadual da Serra do Mar. O restante do território é densamente urbanizado, o que também inviabiliza a construção de aterros devido a necessidade de distância mínima de áreas residenciais;

- **Diadema:** segundo menor município em área, com 30,8 km², também apresenta 100% do território urbanizado. Ou seja, não há condições de implantar um aterro sanitário devido à proximidade a zona urbana e à falta de terrenos apropriados;
- **Mauá:** há possibilidade de ampliação do aterro existente no município quando for necessário, por possuir áreas próximas pouco adensadas e extensa área livre que circunda o aterro (Figura 22 e 24), dependendo de licenciamento;
- **Santo André:** O aterro é antigo e está localizado próximo da zona urbana devido ao processo de urbanização ter avançado ao seu redor. O município também possui 54% da sua área em APRM-B e a outra parte em Reserva Biológica de Paranapiacaba. Ou seja, não é possível ampliar o aterro e nem encontrar novo local dentro do município (Figura 23 e 24).

Figura 22 – Aterro Sanitário Lara Central de Triagem localizado no Município de Mauá

Fonte: Google Earth. Acesso em 06 de janeiro de 2019

Figura 23 – Aterro Sanitário municipal de Santo André, CTR, localizado próximo às zonas urbanas

Fonte: Google Earth. Acesso em 06 de janeiro de 2019

Figura 24 – Aterros Sanitários de Santo André (CTR) e de Mauá (Lara), delineados em vermelho, próximos a zonas urbanas e áreas de proteção ambiental

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de Google Earth. Acesso em 06 de janeiro de 2019

Logo, o cenário para a sub-região Sudeste não é muito diferente da RMSP, sendo uma tarefa árdua encontrar locais disponíveis para implantação de novos aterros sanitários. Além disso, segundo CETESB (2018a; 2018b), a vida útil de ambos os aterros é de 2 a 5 anos, apesar de parecer um pouco pessimista frente ao último licenciamento dado ao aterro Lara, que ganhou cerca de 15 anos de vida útil a partir de 2014²³. Ou seja, a estimativa do tempo que irá durar os aterros sanitários varia bastante devido às incertezas em relação à previsão da quantidade de RSU que será disposta em aterro por cada município nos próximos anos. Além de ser necessário considerar projetos de expansão a serem licenciados em etapas pela CETESB, principalmente para o aterro Lara de Mauá. De qualquer forma, não deixa de ser uma situação de inevitável colapso caso a disposição em aterros sanitários não seja minimizada com outras ações em paralelo.

A reciclagem é a principal alternativa hoje apresentada. Com o objetivo de aumentar o tempo de vida útil dos aterros, a reciclagem pode reduzir os RSU dispostos nessas estruturas, promover a inclusão social com geração de renda para catadores e buscar

²³ Mauá News, **Após nove anos, Lara vai ampliar o principal aterro sanitário da região**. 28 de outubro de 2014. Disponível em: <http://www.mauanews.com.br/noticia-45224.html>. Acesso em novembro de 2018.

padrões mais sustentáveis regionais, com reinserção dos materiais na cadeia produtiva. Em relação a dados de reciclagem da sub-região, não são facilmente encontrados, onde os municípios apresentaram dados ao SNIS ou inconsistentes ou em branco. O próprio Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC (PRGIRS-ABC) apresenta poucos dados sobre a reciclagem de RSU da sub-região Sudeste. O plano afirma que, com exceção de Rio Grande da Serra, todos os demais municípios possuem algum sistema de coleta de resíduos recicláveis, sendo realizados por meio de coleta seletiva, Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), Ecopontos ou organizações de catadores de resíduos sólidos. O plano também informa que cerca de apenas 5,11% dos RSU gerados por todos os municípios foram coletados pela coleta seletiva em 2015 (SANTO ANDRÉ, 2016). Sendo efetivamente reciclados apenas 3,58% do total gerado na sub-região (SANTO ANDRÉ, 2016).

Um outro ponto importante da sub-região sudeste consiste na presença da contaminação deixada pelo antigo lixão do Alvarenga, que foi utilizado entre 1973 e 2003 (SANTO ANDRÉ, 2016). Localizado na divisa entre São Bernardo do Campo e Diadema e à beira da represa Billings, é um passivo ambiental enorme da sub-região. O local recebeu resíduos sólidos durante 30 anos, contaminando uma área de 250 mil m² (SANTO ANDRÉ, 2016). A pretensão do município de São Bernardo é implantar no local um Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação de Energia (SPAR-URE), onde também seria necessário realizar a remediação do terreno (SANTO ANDRÉ, 2016). A opção pelo sistema SPAR-URE é pautada em recuperar o material reciclável e compostável, incinerando as sobras com recuperação da energia produzida na queima. Seria uma opção à falta de novos espaços para a destinação dos RSU da sub-região.

5.3.2 GOVERNANÇA DOS RSU NA SUB-REGIÃO SUDESTE

Como apresentado anteriormente, apesar das sub-regiões terem sido formalizadas com a Lei Complementar Estadual nº 1.139 de 2011, os municípios da sub-região Sudeste já vinham se mobilizando regionalmente há vinte anos. Berço da indústria automobilística do país, passou por crise no setor na década de 1990, agravada pela globalização econômica, reestruturação produtiva dos parques industriais na época e consequente aumento de desemprego (VIANA, 2005). Como reflexo da crise do modelo desenvolvimentista adotado, buscou-se nessa década articulação para a

discussão da sub-região sobre sua vocação industrial em busca por soluções para a superação da crise. Nesse esforço dos sete municípios, originou-se diversas instâncias intermunicipais com a intenção de planejar, articular e definir ações regionais: Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, em 1990, Fórum da Cidadania, em 1995, Câmara Regional do Grande ABC, em 1997, Subcomitê da Bacia Hidrográfica Billings-Tamanduateí, no mesmo ano de 1997, e a Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC, em 1998.

Nem todas as instâncias apresentadas ainda são atuantes, mas tiveram papel importante na estruturação das discussões em relação ao funcionamento da cooperação intermunicipal e regionalização de estratégias (VIANA, 2005). O Fórum da Cidadania organizava grupos de trabalhos com mais de 100 diferentes instituições da sociedade civil para mobilizar os agentes envolvidos na solução de problemas regionais (VIANA, 2005). O Subcomitê Billings-Tamanduateí foi criado como um órgão consultivo e de caráter deliberativo vinculado ao comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, com a finalidade de discutir e participar da elaboração de projetos que visem a proteção e recuperação das áreas mananciais pertencentes aos municípios da sub-região Sudeste. Tal subcomitê, atualmente ainda existente²⁴, já participou da elaboração de Plano Emergencial de Recuperação dos Mananciais da RMSP e da elaboração de lei específica para o Plano de Desenvolvimento e Proteção da Área de Proteção e recuperação dos Mananciais (VIANA, 2005).

A Câmara do Grande ABC por sua vez, apesar de não ser uma estrutura jurídica, conseguiu grandes êxitos para os sete municípios. Criada para buscar alternativas à crise que se instaurava na sub-região, conseguiu organizar discussões sobre soluções regionais com a participação do governador, secretários estaduais, prefeitos, secretários municipais, sindicatos, associações comerciais, parlamentares e outros agentes (VIANA, 2005). O principal produto gerado foi o Planejamento Regional Estratégico em 1999, com eixos estruturantes, programas e ações a serem desenvolvidos em conjunto pelos municípios do Grande ABC. No mesmo sentido de articulação intermunicipal para solucionar a crise regional, a Agência de Desenvolvimento Econômico do Grande ABC foi criada em 1998 com o primeiro acordo assinado pela Câmara do Grande ABC (VIANA, 2005). Organização não

²⁴ Portal SigRh, **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhat/subcomites>. Acesso em janeiro de 2019.

governamental com participação mista, a agência surgiu com a finalidade de atrair novos investimentos com a promoção da sub-região, produzir conhecimento sobre as atividades industriais e de serviços regionais e apoiar e promover pequenas e médias empresas (ROLNIK; SOMEKH, 2000).

Por fim, o consórcio foi a primeira estrutura criada, ainda em 1990. Teve e tem papel central na elevação de maturidade das discussões sobre soluções regionais. Destacam-se as articulações com o governo do Estado no início dos anos 2000, com a viabilização e execução do Plano Regional de Macrodrenagem, a construção de hospitais regionais em Santo André e Diadema e a implantação de Faculdades de Tecnologia (FATECs) em Santo André, Mauá, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul (ABC, 2009). Mais recentemente, o consórcio articulou com o governo federal a expansão do Polo Petroquímico e a instalação da Universidade Federal do ABC. Em 2010, após promulgada Lei Federal nº. 11.107, o consórcio obteve personalidade jurídica, que, segundo o Protocolo de Intenções do Consórcio do Grande ABC, auxiliou a “superar a insegurança jurídica dos atuais arranjos de cooperação, combinada à ampliação da capacidade contratual dos consórcios públicos, inclusive na captação de recursos” (ABC, 2009).

Nessa nova configuração, o consórcio conseguiu elaborar diversos planos regionais como, por exemplo, plano diretor regional, plano regional educacional e plano regional habitacional. Assim como o Plano Regional de Mobilidade do ABC, que está sendo utilizado para a readequação de corredores de transportes coletivos intermunicipais com repasse de verba federal, entre outros projetos que compõem o plano. Essa iniciativa é considerada um grande êxito da cooperação intermunicipal onde é utilizada todo o potencial das estruturas formais do consórcio do Grande ABC (RE; OLIVEIRA, 2018).

A estrutura formal do Consórcio do Grande ABC foi apresentada no regimento interno do consórcio (ABC, 2017) e é composta por três instâncias: Assembleia Geral, Conselho Consultivo e Secretaria Executiva. A Assembleia Geral é constituída pelos sete prefeitos dos municípios consorciados, onde são deliberadas ações e demais assuntos mensalmente. O conselho atua como órgão consultivo da Assembleia Geral, sendo representada pela sociedade civil. Já a Secretaria Executiva implementa e gere as diretrizes políticas e planos de trabalho definidos na Assembleia Geral. Com

relação ao custeio do Consórcio, este é realizado por meio de contrato de rateio entre os municípios.

E resolver os problemas relacionados à disposição e tratamento dos RSU regionalmente tem sido um dos objetivos do consórcio. Em 2015, o consórcio contratou a Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo para a elaboração de um Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC (PRGIRS-ABC). Além de elaborar uma estratégia regional, também diagnosticou os sistemas de gestão de RSU dos sete municípios constituintes (SANTO ANDRÉ, 2016).

Apesar dos êxitos acumulados desde o início da década de 1990, na gestão do prefeito de São Bernardo do Campo, Orlando Morando, o consórcio passou por momento de desarticulação e enfraquecimento político. Alegando redução das receitas, aumento do endividamento municipal e redução da capacidade de investimento, Diadema solicitou sua retirada do Consórcio em julho de 2017 (DIADEMA, 2017). Em Projeto de Lei aprovado na Câmara de Diadema, o atual prefeito, Lauro Sobrinho, alega que o consórcio ficou com estrutura pesada e com custos de manutenção elevados, sendo necessário optar por outros investimentos prioritários (DIADEMA, 2017). Mas reitera em Ata da Assembleia Geral Ordinária do Consórcio de abril de 2017, que quando encerrada dívida com o consórcio, poderá rever posicionamento e retornar (ABC, 2017).

Na intenção de retenção dos municípios e garantia de alta adimplência, o rateio dos custos do consórcio entre os municípios passou por duas revisões, segundo a 84ª e a 93ª Atas de Assembleia Geral do Consórcio: em janeiro de 2017 abaixou de 0,5% da receita ordinária líquida das prefeituras para 0,25% e, no início de 2018, abaixou ainda mais para 0,17%. Mesmo assim, seguindo movimento de Diadema, os municípios de Rio Grande da Serra²⁵ e São Caetano do Sul²⁶ aprovaram em Câmara a saída do consórcio do Grande ABC em maio e novembro de 2018, respectivamente. Em nota oficial da prefeitura de Rio Grande da Serra, fundamentou-se a saída do

²⁵ Diário Regional, **Câmara de Rio Grande da Serra aprova saída do Consórcio Intermunicipal do ABC**. 31 de maio de 2018. Disponível em: <https://www.diarioregional.com.br/2018/05/31/rio-grande-da-serra-aprova-saida-do-consorcio-intermunicipal-do-abc/>. Acesso em janeiro de 2019.

²⁶ RD Repórter Diário, **Câmara de São Caetano aprova saída do Consórcio ABC**. 27 de novembro de 2018. Disponível em: <https://www.reporterdiario.com.br/noticia/2595219/camara-de-sao-caetano-aprova-saida-do-consorcio-abc/>. Acesso em janeiro de 2019.

consórcio devido ao “descumprimento pela atual gestão do Consórcio de seu princípio basilar, que é a regionalização das ações a serem desenvolvidas”²⁷. Já o prefeito de São Caetano do Sul, José Auricchio Júnior, em matéria ao jornal Diário de Ribeirão Pires, justificou a saída do consórcio com base em altos repasses do município e relativa baixa efetividade de retorno investido²⁸.

O momento de crise fiscal dos municípios torna plausível a discussão em torno de um reajuste dos valores de rateio, assim como redução de estrutura do Consórcio do ABC. Por outro lado, as alegações que se referem à falta de regionalização das ações ou o baixo retorno do Consórcio, podem ser questionadas. A sub-região vinha recebendo recentemente repasses federais graças ao consórcio para a construção de Unidades de Pronto Atendimento e obras relacionadas ao Plano de Mobilidade Urbana Regional (ABC, 2017), demonstrando a força da atuação intermunicipal, onde, segundo Ré e Oliveira (2018), seria muito difícil o município articular sua viabilização em âmbito federal. Porém, além dos aspectos técnicos e financeiros, o viés político na saída dos municípios do consórcio também deve ser considerado. Tais aspectos ficam pouco evidenciados em registros documentais e exige análise sob diferentes óticas, não sendo possível aprofundar no escopo do trabalho.

Focando apenas na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, ao contrário do Plano de Mobilidade, as estratégias regionais propostas no Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC, de 2016, ainda não entraram na agenda dos prefeitos da sub-região. Considerando o diagnóstico dos aspectos de infraestrutura já levantados para a sub-região, gera-se um sinal de alerta quando somados ao momento de desarticulação regional, aumento dos custos e atual endividamento com as prestadoras de serviço de RSU.

Cinco municípios da sub-região Sudeste apresentaram, nos últimos anos, endividamentos com as prestadoras de serviço de coleta e destinação de RSU, havendo diversos momentos de interrupção da prestação do serviço. Em 2017, Mauá

²⁷ ABCD Jornal, **Rio Grande da Serra oficializa saída do Consórcio Intermunicipal**. 29 de novembro de 2018. Disponível em: <https://abcdjornal.com.br/rio-grande-da-serra-oficializa-saida-do-consorcio-intermunicipal/>. Acesso em janeiro de 2019.

²⁸ Diário de Ribeirão Pires, **Rio Grande da Serra e São Caetano apresentam cartas de desfiliação do Consórcio**. 05 de dezembro de 2018. Disponível em: <https://diariorp.com.br/2018/12/05/rio-grande-da-serra-e-sao-caetano-apresentam-cartas-de-desfiliacao-do-consorcio/>. Acesso em janeiro de 2019.

devia R\$14mi à concessionária Lara Central de Tratamento de Resíduos Sólidos²⁹. Diadema devia R\$4,82mi ao consórcio Peralta Ambiental e Construban³⁰ também em 2017. No mesmo ano, o consórcio SBC Valorização de Resíduos Sólidos, que possui Parceria Público Privada (PPP) com a prefeitura de São Bernardo do Campo na execução da prestação de serviços de coleta e destinação de RSU, alegou atraso em pagamentos pela prefeitura no valor de R\$30,5mi³¹. Ribeirão Pires renegociou dívida de R\$600mil em 2016 após dois dias de paralisação da prestação do serviço de coleta³². E Rio Grande da Serra também teve a prestação dos serviços interrompida devido à falta de pagamento à Lara Central de Tratamento de Resíduos Sólidos no valor de R\$1mi³³.

O cenário de alerta é reforçado pelos aumentos consideráveis das despesas com a gestão de RSU dos municípios. Entre 2011 e 2016, Santo André apresentou aumento de 35% das despesas totais com manejo de RSU, passando de cerca de R\$60mi para R\$92mi anuais (SNIS, 2013; SNIS, 2018), principalmente devido ao período que destinou para o aterro sanitário de Mauá e ao custeio das obras de readequação/expansão de seu próprio aterro municipal. Mauá e Diadema também tiveram suas despesas acrescidas em 25% no mesmo período (SNIS, 2013; SNIS, 2018). Os demais municípios também apresentam aumento, mas de difícil análise devido a quantidade baixa de dados apresentados ao SNIS no período e da apresentação de muitos valores atípicos quando fornecidos.

Com relação aos mecanismos de arrecadação específicos para subsidiar tais custos com os serviços de coleta e destinação de RSU, apenas Ribeirão Pires da sub-região não possui a institucionalização de taxa municipal específica. Isso é percebido

²⁹ Diário do Grande ABC, **Renegociação de dívida com a Lara desencadeou crise em Mauá**. 17 de dezembro de 2017. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/Noticia/2811355/renegociacao-da-divida-com-a-lara-desencadeou-crise-em-maua>. Acesso em dezembro de 2018.

³⁰ ABC Tudo **Diadema negocia com firmas para evitar greve**. 8 de agosto de 2017. Disponível em: <https://www.abctudo.com.br/diadema-negocia-com-firmas-para-evitar-greve/>. Acesso em dezembro de 2018.

³¹ Globo, **Câmara Municipal aprova criação da 'CPI do Lixo' em São Bernardo do Campo**. 8 de fevereiro de 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/camara-municipal-aprova-criacao-da-cpi-do-lixo-em-sao-bernardo-do-campo.ghtml>. Acesso em dezembro de 2018.

³² Jornal Mais Notícias, **Prefeitura paga dívida e coleta de lixo é retomada em Ribeirão Pires**. 28 de dezembro de 2016. Disponível em: <http://jornalmaisnoticias.com.br/prefeitura-paga-divida-e-coleta-de-lixo-e-retomada-em-ribeirao-pires/>. Acesso em dezembro de 2018.

³³ Diário de Ribeirão Pires, **Prefeitura dá calote e Rio Grande da Serra fica sem coleta de lixo**. 5 de julho de 2017. Disponível em: <https://diariorp.com.br/2017/07/05/prefeitura-da-calote-e-rio-grande-da-serra-fica-sem-coleta-de-lixo/>. Acesso em dezembro de 2018.

realizando-se o levantamento das leis atuais que regulamentam a cobrança para seis dos sete municípios da sub-região Sudeste da RMSP (Quadro 8):

Quadro 8 – Leis que institucionalizam a cobrança da taxa de coleta e transporte de RSU dos municípios da sub-região Sudeste da RMSP que possuem tal instrumento de cobrança

MUNICÍPIO	LEI QUE INSTITUCIONALIZOU A COBRANÇA	FORMA DE COBRANÇA
Santo André	LEI Nº 9.439, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2012	Boleto de Água
São Bernardo do Campo	LEI Nº 5.971, DE 1º DE OUTUBRO DE 2009	Boleto do IPTU
São Caetano do Sul	LEI COMPLEMENTAR Nº 11 DE 20 DE SETEMBRO DE 2018	Boleto de Água
Mauá	LEI Nº 5.295, DE 21 DE DEZEMBRO DE 2017	Boleto de Água
Rio Grande da Serra	LEI Nº 2.234 DE 06 DE DEZEMBRO DE 2017	Boleto de Água
Diadema	LEI COMPLEMENTAR Nº 81, DE 22 DE DEZEMBRO DE 1998	Boleto do IPTU

Fonte: Elaborado pelo autor

O município de Mauá incluiu a taxa no boleto de água pela primeira vez no final de 2017, sendo um importante passo para a sustentabilidade financeira da prestação do serviço de gestão de RSU. São Bernardo já previa taxa desde 2009, incluída no boleto de IPTU. São Caetano do Sul e Rio Grande da Serra apenas trocaram de instrumento, passando a taxa do boleto do IPTU para o boleto de água no último ano. E, por fim, Diadema também possui a taxa no boleto do IPTU desde 1998. A articulação da alteração da forma de cobrança do boleto de água para o boleto de IPTU surgiu em reunião do Consórcio do ABC, onde discutiu-se que os índices de inadimplência do IPTU eram maiores que os de água, já que o não pagamento da conta de água envolve corte do serviço³⁴.

Independentemente de a taxa estar no boleto de água ou de IPTU, a área construída é o principal componente do cálculo para 4 dos 6 municípios apresentados. As formas dos cálculos são descritas em cada uma das leis que institucionalizam a cobrança, e são apresentadas por município no Quadro 9. Avaliando-se as taxas, todas as formas de cobrança apresentam a mesma problemática de não fomentar a redução da geração de resíduos sólidos urbanos pelos habitantes. Como o valor da taxa é

³⁴ Diário do Grande ABC, **Consórcio quer taxa de lixo na conta de água**. 08 de fevereiro de 2017. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/Noticia/2507897/consorcio-quer-taxa-de-lixo-na-conta-de-agua>. Acesso em dezembro de 2018.

permanente ou atrelado às faixas de consumo de água ou à área construída, não há pagamento por parte do cidadão pelo uso real do serviço público prestado, perdendo o caráter educacional da cobrança.

Quadro 9 – Formas de cálculo da taxa de coleta e destinação de RSU dos municípios da sub-região Sudeste da RMSP que possuem tal instrumento de cobrança

MUNICÍPIO	FORMA DO CÁLCULO
Santo André	Cálculo da taxa = [área construída + (área construída x fator frequência) + (área construída x fator categoria)] x custo por m ²
São Bernardo do Campo	Base em tabela que leva em consideração os seguintes fatores: I - a área total construída do imóvel. II - o uso e destinação do imóvel.
São Caetano do Sul	Com base nas faixas de metragem da área edificada + do terreno e diferenciação de tarifa social
Mauá	TAE = DSC/(QEF x FCF) TAE = taxa anual por economia DSC = dispêndios com os serviços de RSU QEF = quantidade por categoria de consumo de água FCF = fator consumo de água por faixa
Rio Grande da Serra	Cálculo da taxa = [(área construída x fator frequência de coleta) + (área construída x fator categoria) + área construída] x 0,22 UMP
Diadema	(Custo do serviço prestado ou colocado à disposição)/(58,50 Unidade Fiscal de Referência)

Fonte: Elaborado pelo autor

Por outro lado, Mauá e Diadema atrelaram a taxa às despesas totais com os serviços de RSU. Isso acarreta em maiores valores a serem cobrados ao cidadão, onde pode promover uma autossuficiência financeira maior ao sistema. Obviamente havendo a necessidade de acompanhar os indicadores de inadimplência pois o aumento do valor das taxas não necessariamente reverterá em aumento de captação de recursos.

De forma geral, os municípios da sub-região Sudeste se mobilizaram para aumentar a arrecadação ou institucionalizá-la, como no caso de Mauá. Porém, o sistema apresentado continua pautado principalmente em lógica linear de geração, coleta e disposição em aterro, insustentável a longo prazo. E consiste em um cenário alarmante que é agravado pelo aumento dos custos devido à disposição em aterros sanitários distantes ou a investimentos em expansão dos aterros. A existência de uma estrutura de consórcio, fragilizada, mas que já apresentou resultados em outros projetos estruturantes regionais, consiste em uma oportunidade para a sub-região Sudeste. E a elaboração de um plano regional foi um começo para solucionar o problema, de forma intermunicipal.

6 MODELAGEM DA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP

A gestão integrada de RSU em Regiões Metropolitanas é complexa e condicionada por múltiplos critérios, muitas vezes conflituosos. A seleção entre sistemas envolve uma grande quantidade de alternativas tecnológicas, instrumentos econômicos, políticas públicas e quadros regulatórios (CHANG *et al.*, 2015). Cada sistema adotado resulta em impactos diferentes em relação aos aspectos ambientais, econômicos, sociais, legais e políticos (NAJM *et al.*, 2002). Ou seja, apresentar soluções que equilibrem esses aspectos se tornou uma tarefa árdua:

As soluções mais baratas não são as mais ambientalmente corretas. A opção mais adequada em termos de equidade social pode não ser a melhor para cumprir os princípios econômicos ou os objetivos ambientais (...). (CHANG *et al.*, 2011, tradução nossa)

Assim, a análise matemática e a modelagem de sistemas se aproximaram do suporte na tomada de decisão entre diferentes sistemas de gestão de RSU (CHANG *et al.*, 1996; CHANG *et al.*, 2011; NAJM *et al.*, 2002; CHANG *et al.*, 2015). Ou seja, técnicas matemáticas de modelagem vêm sendo empregadas para encontrar a melhor solução, buscando harmonizar, integrar e mensurar os impactos sociais, econômicos e ambientais.

Porém, a análise de sistemas aplicada especificamente para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos não é recente. A modelagem matemática nesse contexto é realizada desde final de 1960 em países desenvolvidos (CHANG *et al.*, 2011). Entre 1960 e 1980, os modelos eram direcionados a solucionar problemas em relação à alocação de novas infraestruturas como aterros sanitários e transbordos (ESMAILI, 1972; MARKS; REVELLE; LIEBMAN, 1970; ROSSMAN, 1971), à análise entre alternativas tecnológicas como incineração e disposição em aterros sanitários (HELMS; CLARK, 1974) e em relação à roteirização da coleta domiciliar de resíduos sólidos (BODNER *et al.*, 1970). O foco era a minimização dos custos locais e globais dos sistemas de gestão de RSU.

Até então, os modelos eram simplificados pelo fato de abordarem apenas aspectos econômicos e com poucos atributos interdependentes entre as variáveis (CHANG *et al.*, 2015). Ou seja, ainda não retratavam a realidade de fato. Análises mais sofisticadas surgiram na década de 80 com o avanço de ferramentas computacionais

e a necessidade de modelos mais realistas (MACDONALD³⁵, 1996 apud CHANG *et al.*, 2015). Ou seja, houve necessidade de incorporar novos elementos aos modelos. Percebeu-se que a geração de resíduos sólidos não era uniforme nos diferentes domicílios e que a geração aumentava no tempo (RHYNER; GREEN, 1988), motivando assim, muitos modelos de previsão da geração de RSU. Além disso, as análises de custo-benefício foram desenvolvidas com a incorporação dos aspectos ambientais. Por exemplo, com a criação de regulações em relação às emissões de incineradores e ao tratamento do lixiviado e de gases produzidos em aterros sanitários, havia a necessidade de realizar otimização dos impactos ambientais (CHANG, 1989). Além disso, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) começaram a ser aplicados para localização de melhores terrenos para implantação de aterros e outras estruturas (WONG; TENBROEK³⁶, 1989 apud CHANG *et al.*, 2015).

Já a modelagem na década de 90 foi caracterizada pela incorporação de iniciativas de valorização dos RSU e estratégias relacionadas à sustentabilidade (CHANG *et al.*, 2015). Estender a vida útil dos aterros se tornou uma questão emergencial com o crescimento da urbanização e a dificuldade de localizar novos locais para implantar tais instalações. Logo, incorporou-se aos modelos, análises econômicas entre diferentes tecnologias de valorização, estudos comparativos entre locais a serem implantados plantas de reciclagem e de viabilidade econômica para a reciclagem (HIGHFILL *et al.*, 1994). Além disso, o número de instalações a serem destinados os RSU aumentou junto com o número de possibilidades de opções entre diferentes sistemas. Ou seja, os problemas de roteirização tornaram-se mais complexos e o uso de SIG tornou-se essencial para alocar novas instalações (CHANG *et al.*, 1997).

Outro fato importante da década de 90 foi o surgimento da hierarquização de estratégias na gestão de resíduos sólidos nos países desenvolvidos: redução, reutilização, reciclagem, incineração e aterramento, em ordem de prioridade decrescente (CHANG *et al.*, 2015). Esse princípio, gerou dilemas na tomada de decisão política, surgindo, portanto, os modelos multicritérios, que passaram a avaliar

³⁵ MACDONALD, M., Solid waste management models: a state-of-the-art review. **Journal of Solid Waste Technology and Management**, 23(2), 73–83, 1996.

³⁶ WONG, A. K.; TENBROEK, M., PC-based GIS framework for the management and analysis of hazardous waste site remediation projects. In: Annual **Conference of the Urban and Regional Information Systems Association**, vol. 5, pp. 358–366, 1989.

o desempenho de diferentes sistemas com a atribuição de pesos e prioridades entre diferentes objetivos (ALIDI, 1998; FAWCETT *et al.*, 1993).

Do ano 2000 para frente, os modelos tiveram que solucionar questões ainda mais complexas. Os desafios apenas aumentaram, pois, segundo Chang *et al.* (2015) e Lu *et al.* (2013), as restrições em relação à instalação de infraestruturas cresceram, as diferentes possibilidades de fluxos de destinação de RSU aumentaram, assim como a geração concentrada de resíduos pelas populações urbanas. Também ficou mais evidente a necessidade de incorporar os aspectos sociais relacionados à gestão dos RSU e análise de incertezas para se realizar planejamentos mais assertivos em longo prazo. Diversas outras funções foram incorporadas aos modelos como avaliação de ciclo de vida, monitoramento em tempo real da logística de coleta, avaliação de impacto ambiental, programação multicritério, análise de riscos, *System Dynamics*, entre outras (CHANG *et al.*, 2011).

Para registrar a produção de tantos sistemas de análise criados nos últimos anos, Chang *et al.* (2015) realizaram uma extensa revisão bibliográfica de modelos e ferramentas que avaliam e auxiliam a tomada de decisão entre diferentes Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos. Os autores organizaram a revisão dos modelos em duas categorias: *Systems Engineering Models*, que consistem em modelos-base para a elaboração da análise, e *System Assessment Tools*, que consistem nas ferramentas que complementam os modelos a serem utilizados. No total, foram levantados pelos autores, 5 modelos-base e 11 ferramentas de apoio, sintetizados no Quadro 10.

Quadro 10 – Modelos e ferramentas de apoio à análise de sistemas de gestão de RSU

Systems Engineering Models	System Assessment Tools
Análise de Custo-Benefício (ACB)	Sistema de Gerenciamento de Informações (SGI)
Modelos de Previsão (MP)	Sistema de Suporte a decisões (SSD)
Modelos de Otimização (MO)	Sistemas Inteligentes (SI)
Modelagem de Sistemas Integrados (MSI)	Desenvolvimento de Cenários (DC)
Modelagem por Simulação (MS)	Análise de Fluxo de Materiais (AFM)
	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)
	Avaliação de Riscos (AR)
	Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)
	Avaliação de Estratégias Ambientais (AEA)
	Avaliação Socioeconômica (AS)
	Avaliação da Sustentabilidade (AS)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Chang *et al.* (2015)

Baseando-se na análise realizada para os modelos classificados como *Systems Engineering Models* por Chang *et al.* (2015), selecionou-se os seguintes modelos a serem validados em relação à aplicabilidade ao contexto da sub-região Sudeste:

- **Análises de Custo-Benefício (ACB):** Consistem na avaliação econômica de diferentes sistemas, mensurando os efeitos de políticas públicas com modelagem financeira. Por exemplo, Dewees e Hare (1998) analisaram diferentes programas de redução de resíduos de embalagens e os custos e benefícios diretos associados de várias opções políticas para a redução de resíduos de embalagens. Porém, raramente são considerados nos modelos custos indiretos, impactos ambientais e benefícios sociais;
- **Modelos de Previsão (MP):** Esses modelos estão associados à previsibilidade da geração de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de regressão linear única ou múltipla. Ou seja, busca-se traçar correlações entre diferentes atributos e a geração de RSU. Por exemplo, Beigl *et al.* (2005) encontrou correlações entre a geração *per capita* de RSU com tamanho dos domicílios, faixa etária e indicadores de saúde;
- **Modelos de Otimização (MO):** consistem na resolução de uma problemática bem delineado e caracterizado, resultando em apenas uma solução ideal do problema. Como exemplo, com modelagem por otimização, é possível encontrar o local mais barato para implantar um aterro sanitário ou a melhor roteirização, minimizando o percurso de coleta de RSU (Chang *et al.*, 2011). Aspectos ambientais e sociais podem ser incorporados na programação multiobjetiva e na ponderação por penalidades;
- **Modelagem por Simulação (MS):** Simulação consiste em utilização computacional para a modelagem de relações de causa e efeito no tempo. São direcionados para problemas complexos que querem investigar o comportamento dinâmico do sistema. Auxilia na avaliação dos impactos no sistema ao se aplicar diferentes entradas de dados, considerando políticas públicas, estratégias e planos de ações;
- **Modelagem de Sistemas Integrados (MSI):** São os modelos que integram tanto a simulação quanto a previsão e/ou otimização na modelagem. Respondem a diferentes tipos de problemáticas. Modelagem com muitas abordagens, sendo considerada bem completa. Porém, para apresentar a

solução ótima em relação aos custos do sistema é necessária a equalização em termos financeiros dos impactos ambientais e sociais.

6.1 REVISÃO E INVESTIGAÇÃO DE MODELOS

Para selecionar modelo adequado à realidade do sistema de gestão de RSU da sub-região Sudeste da RMSP, buscou-se analisar, por meio de revisão bibliográfica, especificamente modelos já utilizados que consideraram a dimensão regional e a relação intermunicipal da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Procurando os termos *modeling regional solid waste management* no portal *Science Direct*, foram encontrados cerca de 19 mil artigos publicados. Após a triagem dos artigos que tratam especificamente de RSU, que abordam a integração dos sistemas regionais, analisam diferentes aspectos financeiros, ambientais e sociais e sejam recentes, a lista foi reduzida para 12 artigos (Quadro 11).

Quadro 11 – Revisão bibliográfica de modelagem para sistemas de gestão de RSU

Referência	Escopo
Huang <i>et al.</i> (1995)	Programação fuzzy cinza: Uma aplicação ao planejamento regional de gerenciamento de resíduos sob incerteza.
Everett <i>et al.</i> (1996)	Escalonamento ótimo regional de sistemas de resíduos sólidos I: Desenvolvimento de modelos.
Chang e Lin (1997)	Avaliação econômica de um programa de regionalização para a gestão de resíduos sólidos em uma região metropolitana.
Berger <i>et al.</i> (1999)	EUGENE: Um modelo de otimização para o planejamento integrado regional de manejo de resíduos sólidos.
Najm <i>et al.</i> (2002)	Modelo de otimização para o manejo integrado regional de resíduos sólidos: Formulação do modelo.
Shmelev e Powell (2006)	Modelagem ecológico-econômica para estratégia de resíduos regionais.
Chang e Davila (2007)	Regressão minimax para análise de otimização para um sistema regional de gestão de resíduos sólidos.
He <i>et al.</i> (2009)	Identificação de estratégias ótimas de gerenciamento regional de resíduos sólidos por meio de um modelo de programação inteira inexata contendo objetivos e restrições infinitas.
Cucchiella <i>et al.</i> (2014)	Gestão estratégica de resíduos sólidos municipais: um modelo quantitativo para as regiões italianas.
Simonetto e Löbler (2014)	Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos.
Deus <i>et al.</i> (2016)	Impacto ambiental atual e futuro dos cenários de manejo de resíduos sólidos domiciliares em uma região do Brasil: análise de dióxido de carbono e energia.
Asefi e Lim (2017)	Uma nova abordagem de modelagem multidimensional para gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.

Fonte: Elaborado pelo autor

A maioria dos modelos apresentados no Quadro 11 utiliza soluções baseadas em otimização dos sistemas. Esses modelos são parecidos entre si, tendo como base a formulação de uma função objetivo que visa encontrar uma solução ótima entre as possibilidades disponíveis. Além disso, o problema a ser solucionado precisa ser bem delineado. Nesses modelos é possível incorporar diferentes análises e ferramentas, por isso existem tantas variações de modelagens voltadas para a otimização. Com isso, não serão analisados detalhadamente todos os modelos, apenas os que são mais citados na bibliografia levantada em Najm *et al.* (2002) e Chang e Davila (2007), e um modelo recente, proposto por Asefi e Lim (2017).

Além dos modelos de otimização, encontrou-se uma modelagem realizada para a integração de sistemas que utiliza Análise de Ciclo de Vida (ACV) para a integração de sistemas de gestão de RSU de uma região brasileira, proposto por Deus *et al.* (2016), que também foi analisada. Além desses, para a análise de sensibilidade a diferentes políticas públicas, os autores Chang *et al.* (2015) recomendam a utilização da modelagem por simulação, mais precisamente por meio da utilização de *System Dynamics*. Os modelos encontrados que integram os sistemas de gestão de RSU com tal abordagem por *System Dynamics* são para a escala municipal, com possível adaptação para escala regional (DYSON; CHANG, 2005; KARAVEZYRIS *et al.*, 2002; KOLLIKATHARA *et al.*, 2010; SIMONETTO; LÖBLER, 2014; SUFIAN; BALA, 2007). Logo, como a análise de diferentes cenários e políticas públicas para a sub-região Sudeste da RMSP será necessária, o modelo proposto por Simonetto e Löbler (2014) também foi incorporado ao presente estudo. Inclusive, é um modelo que apresenta um estudo de caso para um município brasileiro.

Para analisar os modelos propostos e sua aplicabilidade no cenário apresentado para a Região Metropolitana de São Paulo, também se faz necessário apresentar os conceitos de abordagem *top-down* e *bottom-up*. A abordagem *top-down* soluciona um problema bem delineado, com um objetivo claro a ser analisado. Para isso, produz alternativas baseadas em simulação, otimização ou previsão do sistema, avaliando tais alternativas para se atingir aos objetivos propostos. O modelo seleciona a mais viável e verifica e valida seu desempenho (CHANG *et al.*, 2015).

Por outro lado, a abordagem *bottom-up* é utilizada para identificar os limites críticos de um sistema e entender seu comportamento diante de diferentes cenários (CHANG *et al.*, 2015). Essa abordagem é explorada, em gestão de resíduos sólidos, com

ferramentas como equações diferenciais ordinárias, modelos baseados em agentes, modelos de *System Dynamics* e teorias de jogo com a resolução de conflitos (CHANG *et al.*, 2015). Em oposição à abordagem *top-down*, que já parte de uma decisão política e se concentra na medida em que seus objetivos são alcançados ao longo do tempo, a abordagem *bottom-up*, começa identificando a rede de atores envolvidos e aprende sobre os objetivos e estratégias no decorrer do processo (SABATIER, 1986). Ou seja, são duas análises opostas: *top-down* parte de objetivo pronto, sistema bem delineado e problema identificado. *Bottom-up* parte da necessidade de se entender o sistema e verificar o que acontece com ele ao testar seus limites. Logo, ambos conceitos serão usados como parâmetros de análise nos modelos revisados.

6.1.1 MODELAGEM DE OTIMIZAÇÃO COM PROGRAMAÇÃO LINEAR

O primeiro modelo analisado é o apresentado por Najm *et al.* (2002). Este é um modelo de otimização com objetivo de integrar sistemas regionais. Os autores propõem descobrir como os RSU devem ser roteados, processados e descartados para que o custo total, tanto econômico quanto ambiental, seja minimizado. Para isso, são necessárias as quantidades de resíduos sólidos urbanos gerados nas diferentes fontes, a localização e as capacidades das instalações de processamento de RSU e os custos dessas estruturas.

O modelo estipula as seguintes variáveis: número total de nós de geração, instalações que realizam processamento dos RSU, instalações de tratamento biológico, instalações de tratamento térmico, aterros sanitários e intervalos de tempo entre viagens. Com isso, são estabelecidos 8 caminhos possíveis para os resíduos sólidos (Figura 25) :

- **Caminho 1:** da fonte geradora para o processamento e segregação dos RSU;
- **Caminho 2:** da fonte geradora para o tratamento térmico;
- **Caminho 3:** da fonte geradora para o aterro sanitário;
- **Caminho 4:** os resíduos orgânicos segregados na fase de processamento vão para o tratamento biológico. Ou seja, não há um caminho direto da fonte geradora para o tratamento biológico, obrigando a passar pela etapa de processamento;

- **Caminho 5:** os resíduos passíveis de tratamento térmico saem do processamento para esta finalidade;
- **Caminho 6:** os rejeitos gerados na etapa de processamento vão para o aterro sanitário;
- **Caminho 7:** os rejeitos gerados no tratamento biológico vão para o aterro sanitário;
- **Caminho 8:** os rejeitos gerados no tratamento térmico vão para o aterro sanitário.

Figura 25 – Sistematização dos caminhos possíveis dos resíduos sólidos, segundo as possibilidades previstas no sistema de gestão de RSU modelado

Fonte: Najm *et al.* (2002)

Com a sistematização do cenário, Najm *et al.* (2002) estabelecem a função objetivo do problema: minimizar os custos ambientais e econômicos desse sistema. A Equação 1 representa a função objetivo do modelo, que é composta por três variáveis: β , C e B.

$$\sum_{t=1}^T \beta_t (C_t - B_t) \quad (\text{Eq. 1})$$

A variável B_t corresponde a um fator de correção atrelado a taxa de inflação e de juros nominais no tempo. A variável C_t corresponde aos custos do transporte, operação das instalações, ambientais, de construção de novas instalações e de expansão das instalações existentes. Já a variável B_t corresponde às receitas relacionadas com a venda de materiais recicláveis, de compostos, de energia e receitas oriundas do pagamento pelos municípios pelos serviços de gestão prestados pelo município.

As equações que correspondem às variáveis C_t e B_t estão apresentadas nas Figuras 26 e 27. Com relação aos custos ambientais, estes são considerados como os custos da redução e remediação de poluentes potenciais, custos de potenciais riscos para a saúde, deterioração do ecossistema e depreciação do uso do solo. Tais custos são referentes à implantação de qualquer uma das possíveis instalações, sendo tanto de tratamento como de disposição final.

Figura 26 – Composição da variável C_t relacionada aos custos do sistema

$$C_t^* = \sum_{d=1}^D \sum_{x=1}^{X_d} \sum_{y=1}^{Y_d} \{ TC_{xyt} \times W_{xyt}^d + OC_y^d \times W_{xyt}^d + OC_y^d \times W_{xyt}^d \} + \sum_{x=1}^X CC_{xt} + \sum_{x=1}^X EC_{xt}$$

Transportation cost
Operational cost
Environmental cost
Fixed construction cost
Fixed expansion cost

Fonte: Najm *et al.* (2002)

Figura 27 – Composição da variável B_t relacionada às receitas do sistema

$$B_t^* = \sum_m \sum_i \sum_j (\alpha_m \times PC_m \times W_{ijt}^1) \times UC_m + \sum_j \sum_k W_{jkt}^4 (1 - VR_k) C + \sum_i \sum_r W_{irt}^2 \times Th_{ir} + \sum_j \sum_r W_{jrt}^5 \times Th_{jr} + \sum_m \sum_r (\xi_m \times PC_m \times G_{rt}) \times UC_m$$

Resource recovery (recyclable)
Biological treatment revenues
Thermal treatment revenues
Household recycling income

Fonte: Najm *et al.* (2002)

Esse modelo foi aplicado a uma região localizada no norte do Líbano, composta por 6 municípios. Os autores chegam a uma solução ótima do sistema e, por meio de manipulação de dados, analisaram a sensibilidade em relação a diferentes políticas públicas. Por exemplo, a partir do cenário-base encontrado, aumentou-se o preço da operação dos aterros sanitários para entender como se relacionaria com a quantidade de RSU encaminhados para a compostagem (Figura 28). Ou seja, com isso é possível saber a sensibilidade do sistema caso haja variação nos preços de operação dos aterros sanitários, e entender os motivos de não ser direcionado os RSU para compostagem.

Figura 28 – Análise de sensibilidade da alteração dos custos de operação dos aterros

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Najm *et al.* (2002)

Esse modelo mostrou ser muito eficiente no que se propõe: minimizar os custos globais do sistema. Porém, como os demais modelos de otimização, utiliza algumas premissas com poucas justificativas (SHMELEV; POWELL, 2006). Todos os custos e receitas por tonelada não foram levantados de acordo com a realidade, sendo todas as variáveis assumidas. Também se assumiu que não haveria expansão ou custos de implantação de novas instalações, limitando a problemática apenas ao sistema atual. Assumiu-se que não haveria rejeitos oriundos das plantas de compostagem e plantas de incineração, o que não ocorre na realidade. Ou seja, foi necessário partir de tais premissas pela dificuldade na obtenção de dados precisos. Além disso, as correções relativas ao sistema são apenas em relação à inflação dos custos e receitas. Logo, não são incorporadas as variações das gerações de RSU no tempo. E, por último, para que seja possível encontrar a solução ótima, os impactos ambientais devem ser transformados em custos, sendo dessa forma simplificados, além de ser difícil correlacionar preço com alguns impactos.

O modelo também tem a típica característica de abordagem *top-down*, onde o modelo foi criado antes mesmo da identificação do local de aplicação. Ou seja, ao ser realizado o estudo de caso, não foram consideradas as especificidades locais no modelo. Assim, a sua aplicação está limitada aos mesmos problemas que a modelagem visa solucionar e deve-se ter clareza sobre o funcionamento do sistema de gestão de RSU para o qual o modelo será aplicado.

Chang e Davila (2007) propuseram um outro modelo baseado em otimização com programação linear, porém com algumas diferenças com relação ao modelo anterior. A formulação desse modelo partiu de um estudo de caso, diferente do modelo de Najm *et al.* (2002) que formulou um modelo genérico para todos sistemas regionalizados e depois aplicou em um estudo de caso. Chang e Davila (2007) estudaram especificamente a integração dos sistemas de gestão de RSU de 3 condados localizados no Texas, estado americano. São envolvidos nas análises de integração, 16 cidades, 3 aterros sanitários, um aterro em processo de aceitação do público e um incinerador procurando local para sua implantação. Todos os dados estão geograficamente apresentados na Figura 29.

Figura 29 – Condados localizados no Texas que desejam investigar a gestão integrada de seus RSU

Fonte: Chang e Davila (2007)

A função objetiva do modelo regional proposto por Chang e Davila (2007) busca a minimização do custo da rede, e é definida como a diferença entre os custos e os benefícios, $(C_t - B_t)$, no intervalo de tempo de quatro anos (Equação 2). Não há consideração de custos ambientais ou alguma forma de incorporar dados referentes aos impactos socioambientais no modelo.

$$i. e., \text{Minimize } \sum_{t=1}^T (C1_t + C2_t + C3_t + C4_t - B1_t - B2_t) \times \left[\frac{(1+f)}{(1+r)} \right]^{t-1} \quad (\text{Eq. 2})$$

São considerados como custos do sistema: custo de transporte de RSU de uma cidade para o local de destinação dos resíduos ($C1_t$), custos de construção de aterro sanitário ou incinerador ($C2_t$), custo de operação dos aterros sanitários implantados ($C3_t$) e custo de operação do aterro e incinerador que vierem a ser implantados ($C4_t$). Em relação aos benefícios, são considerados: benefícios relacionados ao espaço poupado nos aterros devido ao desvio para outras instalações ($B1_t$) e benefícios com a geração de eletricidade proveniente da queima de resíduos nos incineradores ($B2_t$). O primeiro benefício é equivalente ao valor da taxa de depósito de RSU no aterro referente ao volume de resíduos poupado. E os benefícios da geração de energia elétrica consistem na capacidade de geração de energia pela planta de incineração multiplicada pelo preço da energia referente ao ano modelado.

Algumas premissas são assumidas. Todos os resíduos gerados devem ser encaminhados para alguma instalação presente no sistema, não havendo disposições irregulares. As capacidades das instalações não variam e devem ser respeitadas, não

havendo expansões programas. E a incineração não gera rejeitos em seu processamento de queima dos resíduos sólidos. Assim, após formulação da modelagem, os dados para os municípios dos 3 condados são inseridos em software que usa o SOLVER³⁷ como ferramenta. Os resultados são apresentados em forma de otimização das rotas de RSU (Figura 30 e 31) e custos parciais e totais do sistema regionalizado.

São criados 3 cenários para auxiliar a análise. Primeiro cenário é o cenário base, onde não há inserção de interferências no sistema. O resultado desse cenário se encontra na Figura 30. O segundo cenário consiste no aumento gradativo dos custos de transporte de RSU para aterros. Isso acarreta na viabilidade econômica da abertura do incinerador no município Elsa (Figura 31). E por último, testa-se o que aconteceria no sistema regional, caso seja finalizado o aterro mais utilizado na região, chamado de Browning–Ferris (BF1).

Figura 30 – Roteirização otimizada dos RSU gerados nos condados de Willacy, Hidalgo e Cameron, para cenário base

Fonte: Chang e Davila (2007)

Figura 31 – Roteirização otimizada dos RSU gerados nos condados de Willacy, Hidalgo e Cameron, para o segundo cenário

Fonte: Chang e Davila (2007)

A roteirização é apresentada em grafos, conforme Figuras 30 e 31. Dividem-se os condados em três quadrados, de forma representativa e sem escala. Os municípios de cada condado são inseridos nos seus respectivos quadrados. E, assim, indica-se

³⁷ O Solver é uma ferramenta, que dentre suas funções, é utilizada para encontrar a solução ótima de inequações. Sendo construído a partir de um grupo de variáveis de decisão, utiliza-se a ferramenta para o cálculo das inequações, considerando-se as restrições e calculando o resultado ótimo para os objetivos que se deseja.

os fluxos de resíduos das soluções otimizadas para cada cenário criado. Assim, consegue-se ter uma ideia bem clara da dinâmica do sistema e sua sensibilidade a mudanças de cenários.

Além disso, o modelo ainda consegue extrair algumas análises de custo-benefício com os dados levantados dos cenários propostos. A Figura 32 apresenta os resultados do cenário 1, obtendo os custos totais do sistema, os custos apenas de operação e os benefícios com economia de espaço nos aterros. Já para o segundo cenário, houve o acréscimo dos custos de transporte e, com isso, viabilizou-se a criação do incinerador (Figura 33). Percebe-se nesse cenário, por exemplo, que o custo do sistema aumenta muito, passando de 16 milhões para 55 milhões de dólares. Porém, 13 milhões de dólares são poupados com o desvio de RSU que eram encaminhados aos aterros sanitários, além de passar a gerar o mesmo valor com eletricidade, lembrando que, para cada cenário, é apresentado um sistema otimizado. Ou seja, sempre é apresentada a solução de menor custo possível. Isso dificulta a comparação entre cenários.

Figura 32 – Análise de custo-benefício para o cenário base

Fonte: Chang e Davila (2007)

Figura 33 – Análise de custo-benefício para o cenário em que os custos de transporte de RSU para aterro se elevam gradativamente

Fonte: Chang e Davila (2007)

Para os objetivos que se propõe a solucionar, o modelo proposto por Chang e Davila (2007) é eficiente. A modelagem foi realizada para uma região composta por três condados do Texas, mas poderia ser adaptada para outras regiões. Porém, não se considera a reciclagem e se exige que se saibam exatamente as deficiências do sistema de gestão de RSU que já está implantado na região. Ou seja, apesar de ter sido modelado a partir de uma região, também é pautado na abordagem *top-down*. A sua aplicabilidade é limitada para sistemas de gestão de RSU conhecidos e com o objetivo de solucionar os mesmos problemas apresentados para a região modelada.

6.1.2 MODELAGEM DE SISTEMAS INTEGRADOS

Segundo Asefi e Lim (2017), integrar os sistemas de resíduos sólidos envolve muitas decisões simultâneas, como a localização de unidades de processamento e disposição de resíduos, seleção de tecnologias de tratamento de resíduos e alocação de fluxo de resíduos para instalações de processamento e aterros sanitários. O modelo proposto pelos autores também é baseado em otimização, com o objetivo de auxiliar no processo de decisão entre tantas alternativas possíveis. Porém, os autores alegam que os modelos de otimização anteriores, utilizados para escolher o melhor sistema integrado, abordam poucos requisitos de sustentabilidade. Ou seja, os modelos anteriores consideravam apenas a otimização econômica do sistema, incluindo os impactos ambientais causados, em termos financeiros. Logo, este estudo visou incorporar elementos que os anteriores não possuíam, com a elaboração de um modelo denominado Multidimensional, resumido na Figura 34.

Figura 34 – Modelo Multidimensional

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Asefi e Lim (2017)

Esse modelo é separado em três objetivos, como apresentado na Figura 34:

- i. Otimizar o custo total fixo da operação do sistema;
- ii. Minimizar o custo total de transporte dos resíduos sólidos para os locais de destinação;
- iii. Maximizar o Indicador de Adequação.

A inovação do modelo consiste na inclusão do Indicador de Adequação (S) para a seleção de locais mais adequados a serem implantadas novas instalações. Ou seja, quando o indicador é maximizado, a solução apresenta o sistema mais adequado à realidade aplicada. Para compor esse indicador S, utilizou-se o método Delphi, que consiste em obter repetidamente opiniões de especialistas até que exista um consenso significativo sobre o resultado (DELBECQ *et al.*³⁸, 1975 apud ASEFI; LIM, 2017). Após aplicação do método Delphi, chegou-se a um Indicador com 9 fatores relevantes para a seleção de novos locais para a implantação de instalações ou para a avaliação dos locais existentes utilizados: proximidade a áreas residenciais, cobertura do solo, proximidade à água superficial, risco de contaminação das águas subterrâneas, densidade populacional nas proximidades, proximidade às principais estradas e tipo de solo, declive e altitude do terreno a ser utilizado.

Para desenvolver o Indicador de Adequação, primeiro cada um dos 9 fatores ganhou um peso diferente, também validado por especialistas. Em seguida, para cada estrutura diferente de destinação de resíduos sólidos, recebe-se uma nota de 0 a 5 em relação a cada um dos fatores. Isso é válido também para o estudo de áreas para implantação de novas instalações como, por exemplo, de novos aterros sanitários ou incineradores. Com cada local e cada instalação possuindo seus indicadores de adequação ponderados segundo os fatores levantados, monta-se a função objetivo, representada na Equação 3:

$$\text{Min } f_3(x) = \sum_{i \in K} S_i^{*K} a_i^K + \sum_{i \in M} \sum_{t \in T} S_{t,i}^{*M} a_{t,i}^M + \sum_{i \in H} \sum_{r \in R} S_{r,i}^{*H} a_{r,i}^H + \sum_{i \in L} S_i^{*L} a_i^L + \sum_{i \in L'} S_i^{*L'} a_i^{L'} \quad (\text{Eq. 3})$$

A função objetivo $f_3(x)$ visa minimizar a soma do inverso dos indicadores de adequação, denominado indicador de inadequação (S^*). Minimizar a soma de S^* é o mesmo que maximizar a soma dos indicadores de adequação. Ou seja, quanto menor for a soma do inverso dos indicadores de adequação, maior a adequação total do sistema. Na função, as variáveis 'a' representam a abertura ou não das instalações k (transbordos), M (plantas de tratamento), H (plantas de reciclagem), L (aterros sanitários) e L' (aterros de resíduos perigosos). O modelo ainda possui outras duas funções objetivo $f_1(x)$ e $f_2(x)$. Elas são parecidas com os modelos anteriores onde se

³⁸ DELBECQ, A.L., VAN DE VEN, A.H., GUSTAFSON, D.H., **Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes**. Scott, Foresman Glenview, IL, 1975.

minimizam os custos em função dos custos de operação de cada instalação e os custos de transporte do local i para a instalação j .

O modelo em questão foi aplicado em um estudo de caso, uma região localizada no município do Teerã, capital do Irã. O objetivo, nesse caso, foi avaliar o sistema já implantado na região, considerando as instalações existentes e novos possíveis locais para a implantação de outras instalações. Utilizaram-se, para segregação espacial, as 22 subdivisões distritais da região, como apresentado na Figura 35.

Figura 35 – Modelo aplicado para as 22 subdivisões distritais da RM do Teerã

Fonte: Asefi e Lim (2017)

Para a modelagem do sistema, foi preciso levantar a geração *per capita* de cada distrito, mapear o fluxo de RS dos distritos, levantar as capacidades de todas as instalações utilizadas como receptoras de resíduos sólidos e os custos de operação de cada etapa do sistema. Com os dados, foram solucionadas as equações do custo de transporte, custo fixo e Indicador de Inadequação para o sistema atual existente. Além disso, com um software de resolução de inequações baseado em SOLVER, solucionou-se o problema de minimização das três funções objetivo $f_1(x)$ e $f_2(x)$ e $f_3(x)$, para 7 diferentes cenários.

Os cenários 1 e 2 são as soluções ótimas do problema. Os resultados mostram que o cenário 1 conseguiu reduzir em 51,9% os custos fixos em relação ao sistema existente. Porém dobra o indicador de inadequação. Ou seja, os custos são reduzidos, porém as instalações ficarão pior alocadas na cidade do ponto de vista dos fatores

inicialmente escolhidos. Já o cenário 2 conseguiu reduzir tanto os custos de transporte e fixo quanto o indicador de inadequação do sistema.

Os demais cenários foram sendo testados com perguntas “*what if*” (o que aconteceria se). Ou seja, testam-se hipóteses do que aconteceria com o sistema caso alguma modificação fosse proposta, constituindo uma ferramenta interessante no suporte à decisão. Por exemplo, se não houver um determinado transbordo nesse distrito, o que acontece com o sistema? Não foram delineados todos os cenários por serem muito específicos. Porém, a apresentação dos sete cenários foi inovadora. Os cenários foram dispostos em gráfico aranha, onde se consegue avaliar seus resultados de forma comparativa (Figura 36).

Figura 36 – Cenários criados a partir dos cenários ótimos 1 e 2

Fonte: Asefi e Lim (2017)

Apesar dos autores afirmarem que o modelo pode ser adaptado e aplicado em qualquer localidade, podendo ser um país desenvolvido ou em desenvolvimento, existem algumas especificidades da modelagem. Por exemplo, o município possui grande variação altimétrica, o que originou a utilização do fator altitude do terreno na composição do Indicador de Adequação (S). Além disso, não é um modelo voltado especificamente para RSU e sim para todos os resíduos sólidos, considerando, por exemplo, resíduos perigosos no equacionamento. Por outro lado, é facilmente adaptável apenas para RSU. Outros fatores que compõem o indicador S também poderiam ser incorporados, já que as equações não se alterariam.

De fato, o modelo é uma ferramenta holística de suporte à decisão, propiciando a análise não apenas das soluções ótimas como também de possíveis cenários. Além disso, não se restringe a projetar novos sistemas como também avaliar os existentes. Por outro lado, o modelo fica restrito à observação do sistema de gestão de resíduos sólidos de forma estática, sem possibilidade de avaliação no tempo, o que enfraquece sua funcionalidade. E, além disso, o modelo obriga saber os locais alternativos para a implantação das novas estruturas de forma pré-definida (abordagem *top-down* novamente). Caso não se saiba tão bem as necessidades do sistema e especificamente onde seriam tais novas localidades, o modelo torna-se impróprio.

6.1.3 MODELAGEM POR SIMULAÇÃO

A modelagem proposta pelos autores Deus *et al.* (2016) teve o estabelecimento de cenários para a gestão de RSU da região como premissa inicial. O uso de cenários auxilia na análise de diferentes estratégias e políticas públicas que possam ser aplicadas no modelo. Ou seja, permite entender o que poderia dar errado ao seguir uma estratégia ou um plano específico (POLLARD; HOTHOTH³⁹, 2006 apud DEUS *et al.*, 2016). Além disso, quando não se entende completamente o sistema, os cenários permitem a identificação dos problemas presentes e dos potenciais de integração, além de permitir testar possíveis soluções no sistema.

Portanto, a metodologia aplicada no modelo em questão foi criar cinco cenários, avaliando as melhores opções em relação à redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e consumo de energia do sistema. Para isso foi utilizado o modelo *Waste Reduction Model* (WARM), ferramenta disponibilizada pelo órgão ambiental americano United States Environmental Protection Agency (USEPA). A ferramenta utiliza como base a Avaliação de Ciclo de Vida dos resíduos sólidos, considerando o levantamento das seguintes informações, segundo Mahmoudkhani et al. (2014):

- i. Categorização do fluxo de resíduos, ou seja, quanto é gerado de cada fonte e quanto de cada categoria de resíduos é enviado para aterro, reciclagem e outros tratamentos;

³⁹ Pollard, D., Hotho, S., **Crises, scenarios and the strategic management process**. Manag. Decis. 44, 721–736, 2006.

- ii. Conhecimento do destino dos resíduos, ou seja, quanto de cada componente do fluxo de resíduos é reciclado, compostado, incinerado, digerido de forma aeróbica ou disposto em aterro sanitário;
- iii. Para recicláveis, levanta-se a distância das instalações de recuperação de materiais aos mercados onde serão comercializados;
- iv. Para os resíduos aterrados, incinerados e digeridos, levanta-se a distância média percorrida para o local do tratamento e eliminação de resíduos;
- v. Para os aterros sanitários, levanta-se quanto dos gases emitidos são queimados e convertidos em energia;
- vi. Para os resíduos sólidos compostados, levanta-se a distância percorrida da fonte geradora ao local de compostagem.

Após a modelagem do sistema na ferramenta WARM, consegue-se extrair para cada cenário as quantidades de MTCO_2e (m^3 de dióxido de carbono equivalente), MTCe (m^3 de carbono equivalente) e BTU (unidade de medida de energia elétrica consumida). Ou seja, analisam-se os impactos ambientais com emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e energia consumida pelo sistema. O resumo da modelagem proposta por Deus *et al.* (2016) se encontra no Quadro 12.

Quadro 12 – Caminho da modelagem proposta pelos autores

Entrada	Simulação	Saída
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quantidade de RSU gerados ▪ Gravimetria dos resíduos gerados ▪ Estimativa de crescimento de geração ▪ Distância da geração ao aterro sanitário ▪ Período de 15 anos ▪ Criação de 5 cenários 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelo de Redução de Resíduos Sólidos (WARM) ▪ LCA ▪ GHG Emission Inventories (Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa) 	<p>5 cenários com os seguintes indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ MTCO_2e (m^3 de dióxido de carbono equivalente) ▪ MTCe (m^3 de carbono equivalente) ▪ BTU (Uso de energia)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Deus *et al.* (2016)

Os autores, então, desenvolveram a análise para uma região brasileira composta por 12 municípios do Estado de São Paulo (Figura 37).

Figura 37 – Região modelada para entender efeitos ambientais de diferentes sistemas na gestão integrada de RSU

Fonte: Deus *et al.* (2016)

Quanto aos cenários criados, estabeleceram-se, primeiro, o cenário-base e o cenário ideal. O cenário-base corresponde ao que vem ocorrendo na região, onde praticamente todos os municípios destinam os RSU para disposição final em aterros sanitários, ou seja, 0% dos RSU é valorizado. Quanto ao cenário ideal, foi baseado no conceito de *Zero Waste*. O conceito é baseado em anular totalmente os desperdícios com a geração de resíduos sólidos, o que significa uma taxa de reciclagem de 100% e recuperação de todos os recursos de materiais gerados (ZAMAN; LEHMANN⁴⁰, 2011 apud Deus *et al.*, 2016).

Portanto, nesse cenário, estipula-se que, em 15 anos, todos os RSU gerados terão uma destinação pautada na valorização por meio de reciclagem e compostagem. Logo, como o aumento da destinação para valorização é gradual, considera-se que serão valorizados 52,5% do total gerado no período de 15 anos. Os próprios autores consideram esse cenário utópico, sendo utilizado apenas como forma de comparar o máximo potencial total de redução de emissões e energias gastas no sistema.

Assim, entre ambos os cenários, criou-se outros três intermediários como podem ser visualizados na Figura 38. Um cenário (C), onde insere-se o processo de compostagem para parte dos resíduos sólidos coletados. Um cenário (R), onde parte dos RSU vai para reciclagem. E um Cenário intermediário (R+C), onde ambas as

⁴⁰ Zaman, A. U., Lehmann, S. **Urban growth and waste management optimization towards “zero waste city.”** City, Cult. Soc. 2, 177–187, 2011.

soluções são inseridas no sistema, mas com valorização de apenas 20% dos resíduos sólidos encaminhados para cada uma das soluções que foram incluídas.

Figura 38 – Cenários delineados para a gestão integrada de RSU da região leste do Estado de São Paulo

Fonte: Deus *et al.* (2016)

Portanto, os cenários criados e o levantamento de dados foram inseridos na ferramenta WARM. Com isso, os autores conseguiram extrair os valores de geração de MTCO₂e, MTCe e BTU para cada um dos cenários (Figura 39 e 40). Os dados gerados auxiliam no processo de decisão de diversas formas. Por exemplo, na escolha entre implantar sistemas de compostagem ou de reciclagem, foi possível concluir que a reciclagem tem maior potencial de redução dos GEE emitidos e maior aumento de economia das energias totais gastas com o sistema. E mesmo se forem implantados sistemas de compostagem e reciclagem ao mesmo tempo, os ganhos serão apenas com emissões de GEE.

Figura 39 – Quantidade de MTCO₂e emitidos no período de 15 anos para cada cenário proposto

Fonte: Deus *et al.* (2016)

Figura 40 – Quantidade de BTU gastos no período de 15 anos para cada cenário proposto

Fonte: Deus *et al.* (2016)

Diferente dos modelos anteriores revisados, este não apresenta uma solução ótima para o sistema, mas fornece alguns resultados que podem orientar processos decisórios (abordagem *bottom-up*). Ou seja, o modelo apresenta diferentes possibilidades e cenários, auxiliando no entendimento do que ocorre no sistema e com grande potencial em ajudar planejadores e gestores na tomada de decisão. Também pode ser utilizado para criação de políticas públicas como a criação de taxa às emissões de gases de efeito estufa relacionadas a geração de resíduos sólidos ou a venda de créditos de carbono com a redução geral das emissões do sistema. Além disso, a modelagem inovou ao focar na mensuração de indicadores ambientais amplamente utilizados, sem serem traduzidos para valores econômicos. Por outro lado, o modelo não apresenta nenhum indicador financeiro, dificultando o entendimento sobre a viabilidade econômica de cada um dos sistemas propostos.

6.1.4 MODELAGEM POR SYSTEM DYNAMICS

System Dynamics (SD) é uma metodologia criada na década de 50 por Jay Forrester, do Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). A metodologia consiste em estudar o comportamento do sistema no tempo, com possibilidade de avaliar as consequências de diferentes decisões, sendo uma estrutura resultante da interação de políticas, segundo Daellenbach e McNickle⁴¹ (2005 apud SIMONETTO; LÖBLER, 2014). A estrutura necessária para a modelagem é composta basicamente por quatro elementos (COVER, 1996 apud⁴² SIMONETTO; LÖBLER, 2014):

- **Estoque:** são variáveis de estado que armazenam e acumulam atributos, sendo permitido repassar para os outros elementos do sistema. Fornecem uma visão de como está o sistema em qualquer instante do tempo. Qualquer mudança no estoque devido a ação do fluxo demanda tempo para a reação;
- **Fluxos:** são variáveis de ação que alteram os estoques;
- **Auxiliares:** definem as equações dos fluxos com operações algébricas, modelando as informações. São capazes de variar instantaneamente de acordo com a operação desejada;
- **Conectores:** representam as expressões matemáticas que inter-relacionam os componentes.

Os *softwares* chamados Vensim e Stella são ferramentas que simulam o modelo *System Dynamics*. São extremamente intuitivos e visuais, conforme os exemplos apresentados nas Figuras 41 e 42.

Figura 41 – Elementos de *System Dynamics* (SD) utilizando o *software* Vensim

Fonte: Simonetto e Löbler (2014)

Figura 42 – Elementos de *System Dynamics* (SD) utilizando o *software* Stella

Fonte: Chang e al. (2015)

⁴¹ DAELLENBACH, H. G.; McNICKLE, D. C. **Decision making through systems thinking**. Palgrave Macmillan, 2005.

⁴² COVER, J. **Introduction to System Dynamics**. Powersim Press, 1996.

Modelos de Simulação que utilizam *System Dynamics* como ferramenta de análise da integração de sistemas de gestão de RSU, foram aplicados em diversos países no mundo (DYSON; CHANG, 2005; KARAVEZYRIS *et al.*, 2002; KOLLIKKATHARA *et al.*, 2010; SUFIAN; BALA, 2007).

Porém, consiste em uma modelagem pouco aplicada em cidades brasileiras. Simonetto e Löbler (2014) foram os únicos encontrados que propuseram a modelagem de um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, por *System Dynamics*, para uma cidade brasileira. Nesse caso, o objetivo foi bem parecido com o que se espera investigar no caso específico da RMSP:

O modelo desenvolvido foi concebido com o intuito de auxiliar os responsáveis pela gestão de RSU no processo decisório no que se refere ao planejamento para um melhor aproveitamento e destinação dos resíduos gerados pela população, um melhor dimensionamento de áreas para o depósito dos resíduos sólidos urbanos e, por fim, permitir que se avaliem, antecipadamente, políticas para a gestão integrada de resíduos sólidos, de forma a minimizar os impactos ambientais provocados pela crescente geração desses resíduos, associada ao crescimento populacional. (SIMONETTO; LÖBLER, 2014)

Para isso, o modelo foi adaptado para que sejam realizadas perguntas do tipo “*what if*” (o que aconteceria se), pois quando alguns parâmetros são modificados, novos resultados são gerados e torna-se possível avaliar diferentes situações. Ou seja, com o modelo pronto, é possível testar diferentes cenários que simulam decisões como a extinção de um aterro sanitário ou a construção de novos aterros, a elevação da taxa de reciclagem ou compostagem, a inclusão da incineração no sistema de gestão de RSU da região, entre outras decisões que ficam a cargo e interesse dos gestores.

Assim, os autores aplicaram o *System Dynamics* com a ferramenta Vensim, para simular a integração do sistema de gestão de RSU de uma cidade da região sul do país. Além disso, analisaram 3 cenários diferentes para o sistema modelado. Para a sua formulação, foram selecionadas as seguintes variáveis:

- **População:** O cálculo do tamanho da população varia no tempo, considerando as taxas de imigração, emigração, mortalidade e nascimento. Esta variável alimenta as estimativas de geração de RSU;

- **Geração de RSU:** estima a quantidade de RSU que é inserida no sistema. Foi considerado que sua estimativa é em função do tamanho da população no tempo e em função da taxa crescente de geração *per capita* de RSU no tempo;
- **Locais de destinação dos RSU:** Foram considerados aterros sanitários, usinas de compostagem, instalações de reciclagem, usinas de incineração e descarte inadequado. Estes são os estoques do sistema, representados com um retângulo. São alimentados com as estimativas de geração de RSU e taxas de destinação, ou seja, a porcentagem dos resíduos que é levada para cada um dos locais.

Com o estabelecimento das variáveis que compõem o sistema, o modelo foi estruturado e está apresentado na Figura 43.

Figura 43 – Estrutura do modelo de um Sistema de Gestão Integrado de RSU proposta por Simonetto e Löbler (2014) para uma cidade no sul do Brasil

Fonte: Simonetto e Löbler (2014)

Cada estoque e auxiliar possui uma formulação matemática reguladora, apresentada em equações diferenciais ordinárias. Por exemplo, para o estoque “População”, que armazena a estimativa populacional no tempo da cidade estudada, a formulação é apresentada na Equação 4:

$$\text{População}(t) = \text{AcrescPop}(t) - \text{DecrPop}(t) \quad (\text{Eq. 4})$$

Com os seguintes cálculos para cada variável, pelas Equações 5 e 6:

$$\text{AcresPop}(t) = (\text{ImigTaxa} * \text{População}(t)) + (\text{NascTaxa} * \text{População}(t)) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{DecrPop}(t) = (\text{EmigTaxa} * \text{População}(t)) + (\text{MortTaxa} * \text{População}(t)) \quad (\text{Eq. 6})$$

Sendo que:

- **AcrescPop(t):** Acréscimo de população, sendo a soma do número de imigrantes com o número de habitantes que nasceram na cidade;
- **DecrPop(t):** Decréscimo de população no tempo, representando a soma dos emigrantes com o número de mortes que ocorreram na cidade;
- **ImigTaxa(t):** Taxa de imigração da cidade de estudo;
- **NascTaxa(t):** Taxa de natalidade da cidade de estudo;
- **EmigTaxa(t):** Taxa de emigração da cidade de estudo;
- **MortTaxa(t):** Taxa de mortalidade da cidade de estudo.

Não serão apresentadas todas as equações, por ser um modelo extenso, com muitas formulações. Logo, com o modelo montado e formulações matemáticas estruturadas, insere-se os dados relacionados à cidade a ser estudada. E assim, é possível simular, compreender e diagnosticar o sistema e suas operações em função do tempo. Além disso, é possível entender os reflexos no sistema com alguma alteração de premissa ou taxa, ou seja, com a elaboração de diferentes cenários. Simonetto e Löbner (2014) propuseram 3 cenários a serem analisados:

- O **primeiro cenário** considerou o crescimento anual da geração *per capita* em 2%, o aumento da destinação para reciclagem de 3%, anualmente, encaminhamento de 1% para compostagem sem aumento anual e 0% destinados para incineração. Para os aterros sanitários, considerou-se o encaminhamento de 53% dos RSU gerados com aumento de 1% anualmente, com o desvio específico dos resíduos que são encaminhados para tratamento inadequado. Os dados foram todos justificados por bibliografia;
- O **segundo cenário** considerou que as taxas de variação não existiriam. Ou seja, as gerações atuais se manteriam constantemente, verificando a criticidade do sistema sob essa configuração. Considerou-se o segundo cenário como base;

- O **terceiro cenário** adotou a progressão das taxas atuais da gestão de RSU da Holanda devido ao sistema holandês ser considerado padrão mundial em tratamento de RSU (SIMONETTO; LÖBLER, 2014). Esse foi considerado como cenário ideal.

Logo, foi possível extrair gráficos com resultados a serem analisados por gestores tomadores de decisão. Um dos resultados está apresentado na Figura 44. O gráfico apresenta a quantidade de área usada para disposição em aterros sanitários dos RSU gerados no sistema, no tempo de simulação, para os três cenários diferentes. Percebe-se que, após 12 anos, no cenário ideal, o sistema não utilizaria mais aterros sanitários para dispor os RSU gerados. Outra constatação é entre o primeiro e segundo cenário, onde caso o aumento anual de geração de RSU de 2% seja evitado, cerca de 1 milhão de m² de área utilizada em aterros sanitários seriam remediados em 30 anos. Ou seja, consegue-se saber os efeitos de uma política pública voltada para a minimização da geração de RSU.

Figura 44 – Simulação da quantidade de área de aterro sanitário utilizada no tempo

Fonte: Simonetto e Löbler (2014)

Portanto, o modelo apresentado por Simonetto e Löbler (2014) utiliza-se da abordagem *bottom-up* para auxiliar os responsáveis pela gestão de RSU no processo decisório no que se refere ao planejamento para um melhor aproveitamento e destinação dos resíduos gerados, o melhor dimensionamento de áreas para a disposição dos RSU, e permite a avaliação, antecipadamente, de políticas públicas para a gestão integrada de resíduos sólidos, de forma a minimizar os impactos ambientais provocados pela crescente geração desses resíduos e testando diferentes

alternativas. Além disso, é passível de ser adaptado para sistemas regionais de gestão de RSU, permitindo a replicação desse modelo para um conjunto de municípios que compõem a região.

6.2 SELEÇÃO DO MODELO A SER APLICADO NA SUB-REGIÃO SUDESTE

No capítulo anterior, o diagnóstico da RMSP e da sub-região Sudeste foi apresentado. Por um lado, existe a recente mobilização metropolitana com a elaboração do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) e mobilização da sub-região com a elaboração do Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para o Grande ABC, ambos com questões relacionadas a integração da gestão de RSU. Constatou-se que o sistema atual de gestão de RSU da RMSP e de sua sub-região Sudeste não foram planejados e existe pouco entendimento da operação do sistema de forma integrada. As próprias propostas estruturantes do PDUI são de caráter mais investigativas que propositivas. Retomando as propostas, no “Caderno de Propostas Final” do PDUI, propõe-se a elaboração de metas regionais, arranjos institucionais de acordo com os fluxos existentes, universalização da coleta seletiva, identificação de áreas de disposição final e estudos de viabilidade econômica e técnica. Ou seja, não há um problema claro a ser solucionado. Portanto, torna-se pertinente a identificação do que ocorre com o sistema em diferentes cenários e análise de limites críticos, buscando identificar qual seria o potencial de integração entre sistemas. Considerando abordagens *bottom-up* mais pertinentes devido à inclusão a particularidades de cada subsistema.

Com relação aos cinco modelos revisados, todos se mostraram aptos para analisar as condições de integração da gestão de RSU da sub-região Sudeste da RMSP, cada um com suas especificidades e objetivos de análise. Todos os modelos podem incorporar análises regionais e podem desenvolver cenários hipotéticos.

Porém, Asefi e Lim (2017) apresentam um modelo estático no tempo. Isso significa que os sistemas simulados serão sempre referentes ao ano analisado, dificultando análises de interferências de diferentes políticas públicas no tempo, além do modelo ser mais propício para auxiliar na seleção entre diferentes locais a serem implantadas novas instalações de tratamento de RSU. Os outros dois modelos de otimização, apresentados por Najm *et al.* (2002) e Chang e Davila (2007), optam por soluções

otimizadas, minimizando os custos do sistema de gestão de RSU. Logo, possuem um objetivo claro pautado na análise financeira e incorporam alguns custos ambientais. Os pontos negativos em relação a adaptação desses modelos de otimização ao cenário da sub-região Sudeste da RMSP são: primeiro não consideram a variação da geração de RSU no tempo, o que é muito importante em realidades onde é constatado o crescimento anual da geração *per capita* de RSU. Essa variação da geração impacta diretamente em todo o sistema de gestão de RSU. O segundo ponto consiste que são modelagens com abordagens *top-down*, onde já se sabe onde se quer chegar e o sistema já é conhecido e planejado, apenas buscando pela solução ótima.

No outro sentido, a modelagem proposta por Deus *et al.* (2016) é baseada em abordagem *bottom-up* e analisa, com acuidade, diferentes cenários. É um modelo que teria aderência na aplicação regional. No entanto, o modelo é voltado para a análise apenas das emissões de GEE e consumo de energia do sistema, verificando a integração dos municípios apenas nesse aspecto. Já o modelo proposto por Simonetto e Löbler (2014), auxilia no entendimento tanto do sistema quanto de diferentes cenários, analisando a sua criticidade. Além disso, pode, inclusive, incorporar a análise de emissões de GEE e consumo de energia do sistema. E, apesar de ter sido aplicado a uma escala municipal, ele é adaptável para integrar diferentes municípios. Um aspecto importante para o modelo proposto por Simonetto e Löbler (2014) consiste em conseguir incorporar na simulação a variação da geração *per capita* no passar do tempo. Logo, o modelo apresentado por Simonetto e Löbler (2014), baseado na ferramenta *System Dynamics*, mostrou-se o mais apropriado para aplicação na presente abordagem, a de avaliar o potencial de integração em gestão de resíduos sólidos, no contexto da Região Metropolitana de São Paulo, tomando por estudo de caso a sub-região Sudeste. O Quadro 13 resume os modelos revisados segundo os critérios selecionados.

Quadro 13 – Resumo dos modelos revisados e analisados

Modelos Analisados					
Autores Analisados	Najm <i>et al.</i> (2002)	Chang e Davila (2007)	Asefi e Lim (2017)	Deus <i>et al.</i> (2016)	Simonetto e Löbler (2014) (MODELO SELECIONADO)
Tipo de Modelo	Modelo de Otimização	Modelo de Otimização	Modelagem de Sistemas Integrados	Modelagem por Simulação	Modelagem por Simulação
Objetivo do modelo	Minimizar os custos ambientais e econômicos, definido como a diferença entre os custos e os benefícios	Minimizar o custo do sistema, definido como a diferença entre os custos e os benefícios	Minimizar os custos de transporte, os custos fixos e Indicador de Adequação do sistema	Redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e do consumo de energia do sistema	Estudo da destinação dos resíduos gerados, dimensionamento de aterros e avaliação da minimização dos impactos ambientais
Ferramentas	Programação linear multicritério e custo-benefício	Programação linear multicritério e custo-benefício	Programação linear multicritério e multiobjetivo	Avaliação de Ciclo de Vida e GHG	System Dynamics
Desenvolvimento de Cenários	Análise de sensibilidade a partir de cenário base	Sim	Sim	Sim	Sim
Local de Aplicação	6 municípios do Norte do Líbano	3 condados do Texas, EUA	22 distritos da RM do Teerã	11 municípios do Estado de São Paulo	Município do Sul do Brasil
Possibilidade de integrar sistemas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim. Apesar do estudo de caso ter sido aplicado em um município
Modelo dinâmico ou estático no tempo	Dinâmico	Dinâmico	Estático	Dinâmico	Dinâmico
Geração de RSU varia no tempo	Não	Não	Não	Sim	Sim
Aspectos analisados	Econômicos e Ambientais	Econômicos e Ambientais	Econômicos, Ambientais e Sociais	Ambientais	Ambientais e de Gestão
Especificidades	-	Não inclui reciclagem. Utilização de grafo	Utilização de gráfico aranha	Cenários bem delineados	Possibilidade de expandir a análise para outros aspectos
Abordagem	<i>Top-down</i>	<i>Top-down</i>	<i>Top-down</i>	<i>Bottom-up</i>	<i>Bottom-up</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 APLICAÇÃO DO MODELO SELECIONADO NA SUB-REGIÃO SUDESTE DA RMSP

Simonetto e Löbler (2014) não foram os únicos a aplicarem o modelo selecionado, utilizando a ferramenta *System Dynamics* para investigar sistemas de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Karavezyris *et al.* (2002) investigou o comportamento ambiental ao incluir uma variável qualitativa que mensura a sensibilidade do sistema em relação à consciência ou negligência ambiental dos habitantes geradores de resíduos sólidos urbanos. Sufian e Bala (2007) investigaram a percepção da limpeza urbana pelos moradores da cidade. O indicador “preocupação pública” criado foi calculado com base nas taxas de RSU não coletados e não tratados. Além disso, incluíram os potenciais de destinação para cada uma das seguintes possibilidades: compostagem, aterros sanitários, reciclagem e geração de energia elétrica. Outra aplicação do modelo foi apresentada por Inghels e Dullaert (2010), onde discutem os impactos no sistema de gestão de RSU ao optar por diferentes possibilidades de destinação dos resíduos.

Em outra aplicação, Chang e Dyson (2005) estudaram a assertividade da previsão da geração de RSU. Para isso, utilizaram diferentes indicadores que compõem as taxas de variação do crescimento da geração de RSU no tempo. Por exemplo, correlacionaram a geração *per capita* de RSU com renda *per capita* domiciliar, taxa de desemprego, número de habitantes por domicílio, entre outros indicadores.

Por último, Kollikkathara *et al.* (2010) propuseram o estudo das capacidades para as diferentes possibilidades de destinação. Além disso, incluíram potenciais máximos de tratamento para cada fração dos RSU. Os autores incorporaram um indicador que corresponde à taxa de aterramento, que representa a quantidade total de RSU que foram dispostos em aterros sanitários anualmente. Esse indicador auxilia a identificar a redução ou o aumento da destinação dos RSU para os aterros sanitários, avaliando o impacto dos incentivos às outras formas de tratamento e beneficiamento dos resíduos. Além disso, auxilia na avaliação da vida útil dos aterros presentes no sistema, sabendo quando esgotarão as suas capacidades. Outro indicador, usado nessa aplicação, investiga os impactos de políticas públicas voltadas para a minimização da geração de RSU, como apresentado na Equação 7:

$$MSW_{reduced} = [(Pub + Int) * MSW_{Yr}/D] * P_{Yr} \quad (Eq. 7)$$

Ou seja, espera-se com esse indicador, mensurar a quantidade de resíduos sólidos urbanos que deixaram de ser gerados, a partir da implantação de políticas de mitigação da geração *per capita* de RSU. Para isso, o cálculo da Equação 7 é composta pelas seguintes variáveis:

- **MSW_{reduced}**: quantidade de RSU mitigados com a redução da geração proposta;
- **Pub e Int**: redução da geração de RSU (%) proposta em política pública. Pub e Int são indicadores relativos aos hábitos de geração de RSU dos habitantes;
- **MSW_{Yr}**: quantidade de RSU gerados por pessoa no ano mensurado (kg/hab/ano);
- **D**: densidade de compactação dos RSU no aterro (kg/m³), pois o sistema apresentado pelos autores é mensurado em m³ ao invés de toneladas;
- **P_{Yr}**: estimativa populacional para o ano mensurado (hab).

Revisadas as principais aplicações que utilizam o modelo revisado e *System Dynamics* como ferramenta, adaptar a sub-região Sudeste da RMSR em um desses modelos exige o entendimento e contextualização local, como determina a abordagem *bottom-up*. Com isso, optou-se por segmentar a modelagem em duas estruturas, a estrutura básica com os elementos dos municípios e uma outra estrutura com as especificidades regionais:

1. **Estrutura base**: cada município dentro da sub-região Sudeste recebe uma estrutura básica. Essa estrutura consiste em todos os elementos que um sistema de gestão de RSU possui, sendo elaborada a partir do modelo selecionado. A partir de tais estruturas é possível inserir a quantidade e os tipos de resíduos gerados por cada município, os fluxos de destinação RSU e os custos do sistema municipal;
2. **Estrutura regional**: tendo a estrutura básica formulada para todos os municípios que compõem a sub-região, a modelagem da estrutura regional inclui os fluxos dos resíduos realizados de forma regional, os cálculos dos indicadores para a sub-região e os custos regionais para o sistema.

A estrutura base, que é aplicada para cada um dos municípios da sub-região Sudeste, é constituída por:

- **Geração de RSU:** consiste em modelar a quantidade de RSU gerados por cada município no tempo. Está correlacionada à variação populacional do município e à variação de geração *per capita* no tempo;
- **Destinações para tratamento e disposição final de RSU:** foram consideradas as possibilidades de encaminhamento dos resíduos sólidos urbanos para tratamento, reciclagem e disposição em aterro sanitário;
- **Custos do sistema de gestão de RSU:** consiste no levantamento do custo total do sistema de gestão de RSU para cada município, assim como os custos de cada um dos subsistemas: tratamento, reciclagem e disposição em aterro sanitário. O cálculo do custo total é composto pela somatória dos custos desses subsistemas.

Assim, a estrutura base, que é aplicada para cada um dos municípios, está apresentada na Figura 45. Para sua modelagem e simulação, utilizou-se o *software* chamado Stella para formular o modelo para o caso em questão, que é baseado na ferramenta de análise *System Dynamics*. O *software* Stella foi preterido ao Vensim devido a sua facilidade de manuseio e formulação das equações, sendo a licença do seu uso adquirida pelo autor.

Figura 45 – Estrutura base criada, com o *software* Stella, para cada um dos municípios da sub-região Sudeste da RSMP

Fonte: Elaborada pelo autor

Como discutido na revisão do modelo escolhido, proposto por Simonetto e Löbner (2014), a ferramenta *System Dynamics* utilizada é composta por quatro componentes principais: estoques, fluxos, auxiliares e conectores. Para melhor compreensão de

como a ferramenta é utilizada, optou-se também por um sistema de cores e formas (Figura 45):

- Os retângulos azuis consistem nos estoques, que armazenam os valores acumulados no tempo;
- Os componentes azuis em formato de seta ligam os estoques e são chamados de fluxos. Estes regulamentam o que deve ser acumulado no estoque e mensuram, no tempo, quanto está entrando no estoque;
- Os conectores consistem nas setas rosas, que conectam as inter-relações dos demais componentes;
- Os auxiliares são as variáveis e cálculos que modificam o sistema, representados por círculos. Estes foram divididos em quatro cores:
 - os **auxiliares azuis** consistem em contas automatizadas;
 - os **auxiliares pretos** são dados de entrada de parâmetros do sistema;
 - os **auxiliares amarelos** são os indicadores utilizados;
 - os **auxiliares verdes** são os influenciadores do sistema, ou seja, são os dados de entrada de parâmetros que podem interferir todo o sistema. Logo, são utilizados na criação de diferentes cenários.

Explicando detalhadamente a estrutura base, esta pode ser dividida em quatro subsistemas: geração de RSU, destinação para reciclagem, tratamento ou disposição de RSU e custos do sistema. Cada um dos subsistemas da estrutura-base será melhor detalhado e apresentado individualmente.

6.3.1 GERAÇÃO DE RSU

A modelagem da geração de RSU pelo sistema é complexa e consegue influenciar todo o sistema de gestão de RSU, sendo um indicador sensível para o sistema como um todo (DYSON; CHANG, 2005). Existem muitos estudos de previsão para a geração e sua efetividade (BEIGL *et al.*, 2008). Na aplicação do modelo proposto por Sufian e Bala (2007), a geração de RSU do município está correlacionada ao crescimento populacional, à geração *per capita* e à taxa de variação da geração *per capita* no tempo. Tal abordagem foi modelada como apresentada na Figura 46.

Figura 46 – Modelagem da geração de resíduos sólidos urbanos para cada município

Fonte: Elaborada pelo autor

Ou seja, o sistema é composto pelas seguintes Equações 8, 9 e 10, onde “População (t)” é calculada por habitantes, “Geração *per capita*” é calculada em toneladas/habitantes/ano e “Geração de RSU” é calculada em toneladas/ano:

$$População(t) = População\ atual * ((1 + Taxa\ de\ crescimento\ populacional)^t) \quad (Eq. 8)$$

$$Geração\ per\ capita(t) = geração\ per\ capita\ atual * ((1 + Taxa\ variação\ Geração)^t) \quad (Eq. 9)$$

$$Geração\ de\ RSU(t) = População(t) * Geração\ per\ capita(t) \quad (Eq. 10)$$

Adotou-se o mesmo subsistema de geração de RSU utilizado por Sufian e Bala (2007), pois permite a criação e a avaliação de diferentes cenários. Ou seja, alterando a “Taxa de variação de geração”, é possível influenciar o sistema como um todo, ao determinar quanto que a geração cresce com o passar dos anos. Logo, pode-se avaliar os efeitos da minimização da geração de RSU ou os efeitos do crescimento exponencial da geração *per capita* de RSU com o passar dos anos.

6.3.2 DESTINAÇÃO PARA: RECICLAGEM, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

Com a quantidade gerada de RSU calculada, tais resíduos são encaminhados para três possíveis destinações: reciclagem, disposição final e tratamento. A discussão na modelagem não consiste em como será realizada cada uma dessas formas de destinações, mas caso cada uma delas ocorra, qual o impacto de forma regional. Porém atenta-se às terminologias onde reciclagem refere-se ao beneficiamento realizado na fração de recicláveis dos resíduos sólidos urbanos coletados. Tratamento refere-se a qualquer outra forma de beneficiamento que possa ser realizada na fração

que não é coletada pela coleta seletiva. E considera-se a disposição apenas em aterros sanitários da sub-região.

Para a reciclagem, o primeiro passo do modelo consiste em mensurar a quantidade de RSU reciclados pelo sistema. Para isso, multiplica-se a o total de RSU gerados no ano pelo sistema a uma taxa de reciclagem que se busca alcançar. A intenção é avaliar diferentes cenários, portanto variando tal taxa de reciclagem, consegue-se saber a quantidade de resíduos sólidos urbanos que foram reciclados. A Equação 11 indica como o cálculo é realizado. E o subsistema está representado na Figura 47.

$$RSU \text{ reciclados} = \text{Geração de RSU} * \text{Taxa de reciclagem} \quad (\text{Eq. 11})$$

Figura 47 – Modelagem da destinação dos RSU do município para reciclagem

Fonte: Elaborada pelo autor

Com relação à destinação para tratamento, a fração dos RSU que não é reciclada pode ser encaminhada para compostagem ou outra tecnologia de tratamento, realizando o beneficiamento dessa fração de resíduos. Para seu cálculo, definiu-se o parâmetro eficiência de tratamento, que poderá ser levantado para possíveis infraestruturas a serem utilizadas pelo município ou infraestruturas regionais. O cálculo da quantidade de RSU tratados consiste na multiplicação da fração que não é reciclada e é destinada para tal infraestrutura, pela eficiência de tratamento a ser definida em cada situação a ser analisada. O cálculo está apresentado na Equação 12 e a parte da estrutura base relacionada à destinação para tratamento está apresentada na Figura 48.

Figura 48 – Modelagem da destinação dos RSU do município para infraestrutura de tratamento

Fonte: Elaborada pelo autor

$$RSU \text{ tratados} = (Geração \text{ de } RSU - RSU \text{ reciclados}) * Eficiência \text{ de tratamento} \quad (Eq. 12)$$

Quanto à disposição final, todos os resíduos que não foram destinados para reciclagem ou para alguma infraestrutura de tratamento diferenciado são dispostos em aterros sanitários. Ou seja, os rejeitos do processo de reciclagem e dos processos de beneficiamento, juntamente com os RSU da coleta regular municipal, são encaminhados para a variável “RSU aterro” (Equação 13). A Figura 49 apresenta a parte da estrutura base relacionada à disposição dos RSU em aterro sanitário.

$$RSU \text{ aterro} = (Geração \text{ de } RSU - RSU \text{ reciclados} - RSU \text{ tratados}) \quad (Eq. 13)$$

Figura 49 – Modelagem da destinação dos RSU do município para disposição em aterro sanitário

Fonte: Elaborada pelo autor

6.3.3 CUSTOS DO SISTEMA DE GESTÃO DE RSU

A modelagem dos custos é composta pela somatória dos custos de cada uma das destinações apresentadas no item anterior. Em relação ao custo da reciclagem, o modelo se limita a calcular apenas o custo de coleta seletiva sobre o valor do que é efetivamente reciclado. Para isso, multiplica-se o valor por tonelada de resíduo coletado por meio da coleta seletiva (R\$/ton) pelo valor total de RSU reciclados (ton/ano), obtendo-se indicador de gasto anual com o sistema de coleta seletiva. A Figura 50 apresenta a parte que considera os custos do sistema.

Já o custo de tratamento considera o valor gasto por tonelada de resíduo beneficiado, multiplicado pela quantidade total de RSU que foi valorizada nas infraestruturas de tratamento a serem criadas nos cenários (Figura 51). E, com relação aos custos de disposição em aterro sanitário, a quantidade total de RSU que foram dispostos em um aterro sanitário é multiplicada pelo valor de disposição nesse aterro, cobrado por tonelada de resíduo aterrado (Figura 52). Por último, é realizado o cálculo total dos

custos municipais com a gestão de RSU, somando cada um dos custos individuais (Figura 53).

Figura 50 – Modelagem dos custos com reciclagem, que se repete para cada município

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 51 – Modelagem dos custos com tratamento, que se repete para cada município

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 52 – Modelagem dos custos com disposição, que se repete para cada município

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 53 – Modelagem dos custos total que se repete para cada município

Fonte: Elaborada pelo autor

O modelo poderia incluir outros custos relacionadas a gestão dos resíduos sólidos urbanos para os municípios. Por exemplo, poderia ter sido desagregado o custo da coleta seletiva do custo de tratamento dos materiais recicláveis. Ou ainda poderia ter sido considerado os custos com a coleta regular separado do custo total de disposição. Porém, optou-se por reduzir os indicadores de custo a apenas os três apontados na Figura 51, 52 e 53, devido à dificuldade de encontrar dados desagregados para os municípios da sub-região Sudeste.

Indicadores de receitas dos municípios também poderiam ter sido modelados, com a inclusão das formas de cálculo que foram levantadas para cada município. Porém, como apresentado no diagnóstico da sub-região Sudeste, cada município apresenta um formato de cálculo diferente, onde algumas atrelam ao consumo de m³ de água e outras à metragem de m² de área construída, o que levaria a distorções de tais valores ao ser modelado. Além de haver grandes diferenças entre as previsões de receita

para ao que de fato é arrecado, variável que poderia distanciar ainda mais o modelo da realidade.

6.3.4 ESTRUTURA REGIONAL

A estrutura base de cada município, que corresponde à menor unidade de modelagem no presente trabalho, foi apresentada anteriormente e se repete para cada município. Porém, como o foco do estudo são as interações entre os municípios e o potencial de integração entre seus sistemas, tais relações intermunicipais devem ser analisadas de forma regional.

Será com a estrutura regional a ser apresentada que serão realizadas as análises dos diferentes potenciais de integração, a partir da proposição de cenários. As especificidades que auxiliaram a compor essa estrutura regional são: os fluxos intermunicipais de RSU, levantamento dos aterros sanitários da sub-região e suas capacidades, infraestruturas de tratamento, os desafios principais para a integração dos sistemas de gestão de RSU da sub-região Sudeste e dados de entrada dos municípios para cada variável da estrutura base.

Primeiramente considera-se a somatória total da geração de RSU de todos os municípios da sub-região Sudeste e a somatória total dos custos do sistema como um todo. As estruturas estão apresentadas nas Figuras 54 e 55, e consistem na somatória total de cada estrutura base, acumulando a geração e custo no tempo por meio das variáveis “Geração Total de RSU” e “Custo Total”.

Figura 54 – Somatória da geração total de RSU para a sub-região Sudeste

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 55 – Somatória do custo total do sistema da sub-região Sudeste

Fonte: Elaborada pelo autor

Com os valores de geração total de RSU para a sub-região Sudeste é possível saber as taxas de destinação regional para reciclagem, tratamento e disposição final (Figura 56). Esses indicadores são essenciais para avaliar, sob diferentes cenários, a efetividade do sistema em reduzir os resíduos que são destinados para algum dos aterros sanitários existentes. Para realizar os cálculos, primeiro são somadas as quantidades fracionadas de RSU que foram destinados por cada município.

Figura 56 – Modelagem da somatória da geração regional de cada fração destinada de RSU

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, com a divisão dessa quantidade de tratamento, de disposição e de reciclagem pela somatória total da geração da sub-região, extrai-se a porcentagem de RSU da sub-região que foram destinados para cada uma das possíveis destinações. A Equação 14 consiste no exemplo do cálculo para a taxa de destinação dos RSU para tratamento (% Tratamento região), que se repete para os demais indicadores “% disposição região” e “% reciclagem região”.

$$\% \text{ Tratamento região} = \frac{\text{Tratamento região}}{\text{SOMA GER REGIÃO}} \quad (\text{Eq. 14})$$

No caso do custeio do sistema regional, a realização de cálculo por destinação também ocorre (Figura 57). Cada custo com reciclagem, disposição e tratamento são somados separadamente para todos os municípios, e cada soma fracionada é dividida pelo custo total. Com isso é possível saber a incidência do custo de cada destinação no custo total do sistema. Esse indicador auxilia a identificar qual dos subsistemas está onerando mais regionalmente os custos totais, podendo avaliar, em conjunto com outros indicadores, a eficiência financeira da proposta de regionalização.

Figura 57 – Modelagem da somatória regional dos custos para cada uma das diferentes formas de destinação

Fonte: Elaborada pelo autor

O cálculo para o indicador de incidência também é similar para cada uma das destinações possíveis, sendo apresentado, na Equação 15, o exemplo para a incidência do custo de reciclagem no custo total do sistema.

$$\text{Incidência do custo Reciclagem} = \frac{\text{SOMA REC REGIÃO}}{\text{SOMA CUSTO REGIÃO}} \quad (\text{Eq. 15})$$

Por fim, com cada município constituinte da sub-região Sudeste recebendo uma estrutura base e com a inclusão da formulação da estrutura regional, o modelo fica propício para ser simulado de acordo com diferentes cenários. O modelo completo está apresentado na Figura 58, onde cada caixa representa um município com sua estrutura base e no meio do modelo está presente a estrutura regional.

Figura 58 – Modelo completo para os municípios que constituem a sub-região Sudeste da RMSP

Fonte: Elaborada pelo autor

6.4 DESENVOLVIMENTO DE CENÁRIOS

Sabendo que o modelo tem a pretensão de avaliar o potencial de integração regional da prestação de serviços de RSU, foram propostos três cenários de análise com configurações diferentes de arranjos intermunicipais. Para a proposta das configurações, utilizou-se como base os resultados do diagnóstico realizado para a sub-região Sudeste do item 5.3 dessa dissertação, como, por exemplo, a redução do número de municípios aderidos ao Consórcio do Grande ABC, os municípios que possuem aterros sanitários e, principalmente, o Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC (PRGIRS-ABC) elaborado para a sub-região.

A primeira proposta de arranjo, chamada de configuração 1, representa a situação diagnosticada, que ocorre de fato na sub-região. Ou seja, todos os municípios efetuam a prestação de serviços de RSU individualmente. A segunda configuração, configuração 2, considera o fato de que apenas os municípios de São Bernardo do Campo, Santo André, Mauá e Ribeirão Pires ainda se encontram consorciados ao Consórcio do Grande ABC. Adotou-se, portanto, a prestação dos serviços de forma individualizada para os municípios de Diadema, São Caetano do Sul e Rio Grande da Serra, e prestação de serviços de RSU dos demais municípios de forma regional, via Consórcio do Grande ABC. A configuração 3 considerou a hipótese de a sub-região Sudeste regionalizar a prestação dos serviços com a participação de todos os municípios. A Figura 59 apresenta as três configurações.

Figura 59 – Diferentes configurações utilizadas para analisar o potencial de integração da prestação de serviços de RSU

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 55, em verde estão representados os municípios com prestação dos serviços de RSU de maneira individualizada e, em marrom, os municípios que se juntaram em consórcio. A seguir detalha-se a operacionalização de cada uma das configurações.

6.4.1 CONFIGURAÇÃO 1

A configuração 1 é similar ao que ocorre na sub-região Sudeste, levantado no diagnóstico em etapa anterior. O município de Santo André realiza a coleta regular e dispõe em seu aterro municipal. Os demais municípios utilizam, para a disposição final, o aterro privado localizado em Mauá. Com relação à coleta seletiva, apenas o município de Rio Grande da Serra não possui programa de reciclagem. Os demais municípios realizam reciclagem com diferentes taxas de cobertura do sistema de coleta. Por fim, não existem iniciativas de valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos gerados na sub-região.

Com relação à prestação dos serviços, esta é realizada de forma individualizada, onde os municípios possuem suas próprias estruturas de triagem e transbordo e concedem a prestação de serviços de forma indireta, ou seja, há delegação da prestação a um agente privado, como ocorre de fato na sub-região Sudeste. A operacionalização da configuração 1 está apresentada na Figura 60.

Figura 60 – Operacionalização da Configuração 1

Fonte: Elaborada pelo autor

Para simular essa configuração no modelo no item anterior, buscou-se referência para estabelecer os parâmetros que influenciam o sistema, que são os auxiliares verdes do modelo (como apresentado na Figura 58). Estes variam conforme o estabelecimento das diferentes configurações de arranjos. E a sua variação é chave para influenciar o sistema como um todo, auxiliando a explorar como o sistema de

gestão regional da sub-região Sudeste da RMSP reage a essas diferentes configurações. Os parâmetros que serão inseridos no modelo e como foram estimados para essa configuração 1 estão apresentados em sequência:

- a. **Taxa de reciclagem:** consiste na porcentagem total de RSU que foram recuperados por meio de reciclagem. O PRGIRS-ABC apresenta os valores atuais para os municípios, considerando que Rio Grande da Serra não possui nenhum programa de coleta seletiva;
- b. **Eficiência de tratamento:** consiste no parâmetro onde considera-se uma taxa de eficiência no tratamento dos RSU encaminhados para uma estrutura de beneficiamento dos resíduos. Nessa configuração não há essa forma de destinação, sendo, portanto, desconsiderada;
- c. **Custo de tratamento de RSU (R\$/ton):** consiste no custo pela prestação do serviço de tratamento de RSU por tonelada. Como não há nenhuma estrutura de beneficiamento nessa configuração, também não é considerada;
- d. **Custo de disposição de RSU (R\$/ton):** representa o custo pela prestação do serviço de disposição de RSU. Os dados foram retirados do SNIS (2018), que fornece os valores contratuais dos serviços de aterramento de RSU dos municípios que informaram (Informação CO162 do SNIS);
- e. **Custo de coleta seletiva de RSU (R\$/ton):** consiste no custo pela prestação do serviço de coleta seletiva de RSU por tonelada coletada. Os dados utilizados são embasados no PRGIRS-ABC, que estima o valor médio de R\$400/ton. Não foi encontrada outra fonte.

No Quadro 14 estão apresentados, de acordo com as explicações, os parâmetros utilizados na configuração 1.

Quadro 14 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 1

CONFIGURAÇÃO 1							
Parâmetros	Diadema	SBC	SCS	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André
Taxa de reciclagem	1,12%	6,83%	1,80%	1,30%	0,00%	1,04%	3,15%
Eficiência de tratamento	-						
Custo do tratamento de RSU (R\$/ton)	-						
Custo da disposição de RSU (R\$/ton)	66,74	90,00	93,52	82,72	91,39	98,18	43,46
Custo da coleta seletiva de RSU (R\$/ton)	400,00	400,00	400,00	400,00	-	400,00	400,00

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Santo André (2016) e SNIS (2018)

6.4.2 CONFIGURAÇÃO 2

A configuração 2, que consiste no arranjo que considera a saída do Consórcio do ABC dos municípios de Rio Grande da Serra, São Caetano e Diadema, e apresenta a regionalização da prestação dos serviços para os municípios que sobraram no consórcio. Nesse caso, os municípios Santo André, Ribeirão Pires, Mauá e São Bernardo do Campo regionalizam o tratamento de resíduos e a coleta seletiva.

Em relação ao tratamento de resíduos, são criadas novas infraestruturas intermediárias que visam reduzir a disposição dos resíduos nos aterros sanitários. A primeira delas consiste na implantação de um Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação de Energia (SPAR – URE) no município de São Bernardo do Campo, no antigo local do lixão do Alvarenga. Esse sistema é uma proposta do Plano de Gestão Integrada de Resíduos de São Bernardo que foi utilizada no estudo de regionalização do Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para a Região do ABC (PRGIRS-ABC).

No caso, essa estrutura SPAR-URE busca triar e beneficiar resíduos que não são recolhidos pelo programa de coleta seletiva, ou seja, todo resíduo que não foi segregado na fonte e é coletado pela coleta regular (SANTO ANDRE, 2016). A coleta seletiva continua operando, porém, com a configuração proposta, aumenta-se a taxa de recuperação dos resíduos recicláveis também. O SPAR-URE possui capacidade de tratamento de 275 mil toneladas/ano e tem custo estimado para sua instalação no valor de R\$ 561 milhões (SANTO ANDRE, 2016). Para isso, esse sistema valoriza a fração orgânica por meio de processo de compostagem, realiza triagem de materiais recicláveis e ainda possui sistema de recuperação de energia a partir da incineração de rejeitos. O sistema tem uma taxa de eficiência de tratamento de 75%, gerando, portanto, rejeito ao final do beneficiamento dos RSU, que vai para o aterro sanitário localizado em Mauá (SANTO ANDRE, 2016). Como apresentando no plano, apenas São Bernardo do Campo utiliza essa infraestrutura por ser o município com distritos mais distante dos aterros e já estar previsto, em seu plano municipal, sua viabilização.

Além da estrutura proposta para São Bernardo do Campo, é sugerido no PRGIRS-ABC a instalação regional de um Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos com implantação de Tratamento Mecânico-Biológico (SPAR-TMB). O sistema possui capacidade de tratamento de 200 mil toneladas/ano de RSU e sua

instalação custa cerca de R\$ 140,2 milhões (SANTO ANDRE, 2016). O que difere esse sistema do anterior consiste apenas na forma de recuperação energética da planta, que não é realizada por combustão e sim, por geração de biogás. Essa infraestrutura de valorização dos resíduos é consorciada entre os municípios que permaneceram no Consórcio do ABC, regionalizando parte da gestão dos RSU da sub-região Sudeste. Além disso, Santo André passa a destinar seus RSU para o aterro de Mauá devido à regionalização da operação (SANTO ANDRE, 2016).

A coleta seletiva também é regionalizada nessa configuração 2, nesse caso com a inclusão de São Bernardo do Campo também. Proposta do PRGIRS-ABC, considera-se no plano regional a combinação entre duas modalidades de coleta: porta-a-porta e entrega voluntária, com implantação gradual dos investimentos em infraestruturas. Essa proposta parte do pressuposto que o aumento da disponibilidade de locais para o descarte correto dos recicláveis e o aumento da cobertura de coleta porta-a-porta, realizadas conjuntamente, aumentam os indicadores de reciclagem da sub-região. Assim sendo, o plano estabelece a implantação gradual de PEVs, Ecopontos e o aumento da frota de caminhões de coleta de forma que, as ações conjugadas e integradas, consigam abranger a maior parte dos municípios consorciados. Com tal plano e pressupostos, estima-se que a taxa de reciclagem terá acréscimos gradativos de 0,25% ao ano e os custos de coleta seletiva caia, gradualmente conforme os investimentos, de R\$401/ton para R\$189/ton (SANTO ANDRE, 2016).

Com a regionalização da coleta seletiva e com a implantação das estruturas regionais de tratamento dos RSU, apresenta-se a operacionalização dessa configuração 2 na Figura 61.

Figura 61 – Operacionalização da Configuração 2

Fonte: Elaborada pelo autor

Como apresentado na configuração 1, novamente é necessário levantar os parâmetros influenciadores utilizados na configuração 2 (Quadro 15):

- a. **Taxa de reciclagem:** como proposto no PRGIRS-ABC, estima-se que a taxa de reciclagem nos municípios de São Bernardo do Campo, Mauá, Ribeirão Pires e Santo André variam no tempo, aumentando 0,25% ao ano até 2035. Isso ocorre devido à expansão gradual do sistema de coleta de recicláveis realizada regionalmente com a implantação de PEVs, Ecopontos e circulação de mais caminhões. Para os demais municípios que executam a gestão de RSU de forma individualizada, considerou-se as mesmas taxas de reciclagem da configuração 1;
- b. **Eficiência de tratamento:** considerou-se a eficiência de tratamento das duas infraestruturas propostas no PRGIRS-ABC. A SPAR-URE possui eficiência de 75% e a SPAR-TMB possui eficiência de 73,2%. As usinas demoram 4 anos para iniciar a operação;
- c. **Custo do tratamento de RSU (R\$/ton):** utilizou-se custo estimado e calculado no PRGIRS-ABC para cada infraestrutura, SPAR-URE e SPAR-TMB, sendo no valor de R\$145,00 por tonelada beneficiada;
- d. **Custo da disposição de RSU (R\$/ton):** utilizou-se custo estimado e calculado no PRGIRS-ABC para os municípios que regionalizaram a disposição. Para os demais, utilizou-se os mesmos custos apresentados na configuração 1;
- e. **Custo da coleta seletiva de RSU (R\$/ton):** Os dados utilizados são embasados no PRGIRS-ABC, que estima a redução gradual do valor de R\$401/ton para R\$189/ton.

Quadro 15 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 2

CONFIGURAÇÃO 2							
Parâmetros	Diadema	SBC	SCS	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André
Taxa de reciclagem	1,12%	6,83%	1,80%	1,30%	0,00%	1,04%	3,15%
	acréscimo de 0,25% ao ano nos municípios: SBC, Mauá, Ribeirão Pires e Santo André						
Eficiência de tratamento	-	75,0%	-	73,2%	-	73,2%	73,2%
Custo do tratamento de RSU (R\$/ton)	-	145,00	-	145,00	-	145,00	145,00
Custo da disposição de RSU (R\$/ton)	66,74	110,00	93,52	110,00	91,39	110,00	110,00
Custo da coleta seletiva de RSU (R\$/ton)	400,00	401 a 189	400,00	401 a 189	400,00	401 a 189	401 a 189

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Santo André (2016)

6.4.3 CONFIGURAÇÃO 3

A configuração 3 consiste na regionalização completa da sub-região Sudeste da RMSP em relação à prestação de serviços de RSU. As mudanças acarretadas pela entrada dos municípios de São Caetano do Sul, Diadema e Rio Grande da Serra demandam a implantação de mais uma SPAR-TMB e a reorganização do arranjo entre os municípios que utilizam cada uma dessas estruturas. Por serem municípios limítrofes e integrados, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra utilizam a mesma SPAR-TMB e os demais municípios a outra. Além dessa mudança, Ribeirão Pires passa a aderir ao plano de expansão do sistema de coleta porta a porta e entrega voluntária, passando a ter, portanto, reciclagem dos RSU gerados no município. A operacionalização da configuração 3 está apresentada na Figura 62.

Figura 62 – Operacionalização da Configuração 3

Fonte: Elaborada pelo autor

E em relação aos parâmetros dessa configuração, utiliza-se os parâmetros regionais da configuração 2 para todos os municípios da sub-região, como apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 – Resumo dos parâmetros definidos para a Configuração 3

CONFIGURAÇÃO 3							
Parâmetros	Diadema	SBC	SCS	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André
Taxa de reciclagem	1,12%	6,83%	1,80%	1,30%	0,00%	1,04%	3,15%
	acréscimo de 0,25% ao ano em todos os municípios						
Eficiência de tratamento	73,20%	75,00%	73,20%	73,20%	73,20%	73,20%	73,20%
Custo do tratamento de RSU (R\$/ton)	145,00						
Custo da disposição de RSU (R\$/ton)	110,00						
Custo da coleta seletiva de RSU (R\$/ton)	401 a 189						

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Santo André (2016)

6.4.4 PARÂMETROS FIXOS

Com os possíveis arranjos estabelecidos em três configurações diferentes, para que a simulação seja realizada é necessário ainda inserir parâmetros adicionais ao modelo proposto no item 6.3. Esses parâmetros são fixos (auxiliares que estão em preto no modelo, como apresentado na Figura 54) e consistem em dados de entrada que condicionam os contornos iniciais do sistema. Para o levantamento dos dados, considerou-se o ano base de 2015 devido à grande disponibilidade de dados para calibragem do modelo. Logo, especificam-se os parâmetros auxiliares que foram utilizados, sendo apontados em sequência no Quadro 17:

- i. **Geração de RSU *per capita* (ton/hab/ano):** Consiste na geração de RSU de cada município dividido pelo seu número de habitantes. Foram utilizados os dados fornecidos pelo SNIS (2017), referentes ao ano 2015, que são similares aos dados apresentados no plano PRGIRS-ABC. Esse é o dado de maior sensibilidade para a simulação;
- ii. **Taxa anual de variação da geração (%):** Estipulou-se que há crescimento da geração em 1,5% anuais para todos os municípios, que corresponde a taxa adotada na projeção do PRGIRS-ABC e no modelo de Simonetto e Löbner (2014);
- iii. **População inicial (número de habitantes):** A população de cada município foi retirada das estimativas do IBGE para o ano de 2015;
- iv. **Taxa de crescimento populacional (%):** realizou-se o levantamento das estimativas do IBGE para os últimos 5 anos e do Censo 2010. Para esses dados populacionais, realizou-se a média da taxa de crescimento anual desses últimos 6 anos para cada município da sub-região Sudeste;
- v. **Período de simulação (anos):** esse parâmetro determina até quando a simulação é realizada, estabelecendo o tempo de planejamento. Foi determinado o período de 20 anos, de acordo com o período proposto também no PRGIRS-ABC;
- vi. **Ano inicial da simulação (ano):** considera-se o ano 2015 para iniciar a simulação pois os dados de 2015 possuem maior disponibilidade de dados, sendo importante para a calibragem do modelo.

Quadro 17 – Resumo dos parâmetros fixos utilizados na simulação da sub-região Sudeste

Parâmetros Fixos (não variam nas diferentes configurações)	Diadema	SBC	SCS	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André
Geração de RSU per capita (ton/hab/ano)	0,286	0,333	0,388	0,264	0,157	0,311	0,328
Taxa anual de variação da geração	1,50%						
População inicial (hab)	412.428	816.925	158.024	453.286	48.302	120.396	710.210
Taxa de crescimento populacional	1,30%	1,28%	1,13%	1,64%	1,88%	1,24%	0,96%
Ano inicial da simulação	2015						
Período de Simulação	20 anos						

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de IBGE (2017), Santo André (2016) e SNIS (2018)

6.5 RESUMO DOS RESULTADOS

Para a extração dos resultados do *software* Stella, foi necessária a realização de uma simulação para cada uma das três configurações propostas. Ou seja, extraiu-se resultados de cada simulação realizada para cada configuração. Com o intuito de facilitar a comparação entre as configurações, apresenta-se o resumo dos resultados nos Quadros 18, 19 e 20, sendo discutido no capítulo seguinte.

Quadro 18 – Resultados das quantidades destinadas para disposição, reciclagem e tratamento, em valores brutos, para as três configurações propostas, após simulação para o período entre 2015 a 2035

	Quantidade destinada (toneladas)	Diadema	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André	São Bernardo do Campo	São Caetano do Sul
Config. 1	Disposição em aterro	3.193.703,3	3.345.497,1	220.028,4	1.008.610,7	5.973.938,5	6.926.500,2	1.621.201,0
	Reciclagem	36.174,6	44.064,3	0,0	10.599,8	194.299,5	507.760,0	29.716,5
	Tratamento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Config. 2	Disposição em aterro	3.193.703,3	2.436.387,9	220.028,4	433.154,3	4.997.928,7	3.627.506,7	1.621.201,0
	Reciclagem	36.174,6	130.138,2	0,0	36.126,6	347.274,1	694.216,0	29.716,5
	Tratamento	0,0	823.035,2	0,0	549.929,6	823.035,2	3.112.537,5	0,0
Config. 3	Disposição em aterro	2.380.639,5	1.751.929,8	92.568,3	433.154,3	5.088.963,9	3.627.506,7	848.011,5
	Reciclagem	117.238,4	130.138,2	5.633,0	36.126,6	347.274,1	694.216,0	70.906,1
	Tratamento	732.000,0	1.507.493,3	121.827,1	549.929,6	732.000,0	3.112.537,5	732.000,0

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 19 – Resultados das taxas de disposição, reciclagem e tratamento, em porcentagem, para as três configurações propostas, após simulação para o período entre 2015 a 2035

	Taxas (%)	Diadema	Mauá	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	Santo André	São Bernardo do Campo	São Caetano do Sul
Config. 1	Disposição em aterro	98,88%	98,70%	100,00%	98,96%	96,85%	93,17%	98,20%
	Reciclagem	1,12%	1,30%	0%	1,04%	3,15%	6,83%	1,80%
	Tratamento	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Config. 2	Disposição em aterro	98,88%	71,88%	100,00%	42,50%	81,03%	48,79%	98,20%
	Reciclagem	1,12%	3,84%	0%	3,54%	5,63%	9,34%	1,80%
	Tratamento	0%	24,28%	0%	53,96%	13,34%	41,87%	0%
Config. 3	Disposição em aterro	73,71%	51,69%	42,07%	42,50%	82,50%	48,79%	51,37%
	Reciclagem	3,63%	3,84%	2,56%	3,54%	5,63%	9,34%	4,29%
	Tratamento	22,66%	44,47%	55,37%	53,96%	11,87%	41,87%	44,34%

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 20 – Resultados acumulados das três configurações propostas após simulação para o período entre 2015 a 2035

Indicadores		Configuração 1	Configuração 2	Configuração 3
Quantidade Destinada (ton)	Disposição em aterro	22.289.479,2	16.529.910,3	14.222.774,0
	Reciclagem	822.614,7	1.273.646,1	1.401.532,5
	Tratamento	0,0	5.308.537,5	7.487.787,5
Taxa (%)	Disposição em aterro	96,44%	71,52%	61,54%
	Reciclagem	3,56%	5,51%	6,06%
	Tratamento	0,00%	22,97%	32,40%
Custos (R\$)	Disposição em aterro	R\$ 1.643.648.175,53	R\$ 1.649.318.404,88	R\$ 1.564.505.134,88
	Reciclagem	R\$ 329.045.882,23	R\$ 309.507.420,47	R\$ 326.650.933,79
	Tratamento	R\$ 0,00	R\$ 1.036.757.250,00	R\$ 1.468.439.276,82
Custo Total (R\$)		R\$ 1.972.694.057,76	R\$ 2.995.583.075,35	R\$ 3.359.595.345,49

Fonte: Elaborado pelo autor

7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O modelo foi simulado para as três configurações diferentes de arranjos intermunicipais, como definido no item de desenvolvimento de cenários. Inicialmente, é importante analisar o indicador de geração de RSU de cada município. Sendo um dos indicadores mais sensíveis à simulação e referência para as análises, seu cálculo foi o mesmo para todas as configurações. Sob a influência do aumento anual da taxa de crescimento populacional de cada município e do aumento gradual da taxa de geração *per capita* de 1,5% ao ano, a sub-região Sudeste geraria, acumulando-se 20 anos de simulação, o total de 23,1 milhões de toneladas de RSU. São Bernardo do Campo e Santo André, por serem municípios mais populosos, apresentaram maiores acúmulos na geração final de RSU, como apresentado na Figura 63.

Figura 63 – Total estimado da geração de RSU de cada município da sub-região Sudeste da RMSP, de 2015 a 2035, com base nas simulações realizadas

Fonte: Elaborada pelo autor

Já Ribeirão Pires e São Caetano do Sul, apesar de apresentarem aumentos consideráveis em relação à geração *per capita* de RSU no período simulado (Quadro 21), contribuíram pouco na geração total de RSU da sub-região.

Quadro 21 – Estimativa da evolução da geração *per capita* de RSU para os municípios da sub-região Sudeste, entre 2015 e 2035, com base nas simulações realizadas

Evolução da geração per capita diária de RSU (kg/hab/dia)							
Ano da simulação	Rio Grande da Serra	Ribeirão Pires	São Caetano do Sul	Diadema	Mauá	Santo André	São Bernardo do Campo
2015	0,430	0,852	1,063	0,784	0,723	0,899	0,912
2035	0,579	1,148	1,432	1,055	0,974	1,210	1,229

Fonte: Elaborado pelo autor

A baixa influência do aumento da taxa de geração indica que o tamanho populacional e sua taxa de crescimento anual são fatores de maior influência no indicador de geração de RSU, principalmente quando a escala regional é aplicada. Isso significa que as propostas de atuação intermunicipal devem considerar as grandes desigualdades populacionais e, por consequência, de geração de RSU entre os municípios. No próprio caso da sub-região Sudeste, por exemplo, apenas Santo André e São Bernardo do Campo geraram juntos 58,9% dos RSU totais da sub-região no período de 20 anos de simulação (Figura 64), enquanto Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires e São Caetano do Sul, geraram juntos 12,5%.

Figura 64 – Estimativa da porcentagem da contribuição de cada município na geração total de RSU para o período de simulação

Fonte: Elaborada pelo autor

Quando estabelecidos serviços regionalizados, a existência de grandes diferenças entre a geração municipal de RSU se reflete em analisar detalhadamente como serão realizadas a divisão dos custos de operação e de implantação de novas infraestruturas, em como serão geridas essas novas infraestruturas regionais e em quanto cada município pode utilizar de cada infraestrutura. Esses tópicos irão surgir conforme o desenvolvimento das análises das diferentes configurações.

De acordo com o desenvolvimento dos cenários propostos, a configuração 1 consiste na gestão dos RSU realizada de forma individualizada pelos municípios, sem investimentos regionais em novas infraestruturas. Pode-se considerar que consiste no cenário mais pessimista dentre as configurações. Após a simulação do modelo para essa configuração, 96,4% dos resíduos sólidos urbanos foram destinados para aterro sanitário. A reciclagem atual, como é realizada, exerce pouco impacto no desvio dos resíduos que vão para os aterros de Mauá e Santo André em longo prazo. Apenas 80 mil toneladas de RSU foram reciclados das 23,1 milhões de toneladas geradas,

representando apenas 3,46% do total. Apenas São Bernardo do Campo e Santo André conseguiram desviar para reciclagem valores maiores que os demais municípios, por possuírem programas de coleta seletiva implantada melhor estruturada (Figura 65).

Figura 65 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 1, de 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Visualizando as destinações de RSU em valores brutos, apresentada na Figura 66, percebe-se que mesmo com taxas de reciclagem acima da sub-região, Santo André e São Bernardo do Campo ainda são os maiores contribuidores da disposição em aterro sanitário. São Bernardo do Campo destinou para o aterro localizado em Mauá mais que o dobro que o próprio município de Mauá. E Santo André, nessa situação apresentada, provavelmente teria que planejar consecutivos planos de expansão de seu aterro municipal ou passar a utilizar outro aterro sanitário mais distante, já que não há novas áreas no município para a construção de um novo.

Figura 66 – Estimativa da quantidade total de RSU destinados para reciclagem e disposição em aterro de cada município após a simulação para a configuração 1, de 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

A configuração 1, portanto, demonstra que a falta de outras formas de beneficiamento dos RSU gerados na sub-região e a reciclagem incipiente dos municípios, em longo prazo, perpetua a lógica de encontrar novos locais para a disposição dos resíduos em aterros sanitários cada vez mais longínquos e de não aproveitar o valor agregado existente nos RSU. Além de apresentar a importância da participação dos municípios que geram maior quantidade de RSU, principalmente São Bernardo do Campo, que exporta seus impactos ambientais da disposição final para Mauá.

Já a configuração 2 apresenta um cenário intermediário da regionalização da gestão de RSU, com a implantação das duas usinas de tratamento, SPAR-URE para atender São Bernardo do Campo e SPAR-TMB para atender Santo André, Ribeirão Pires e Mauá. Além disso é proposto o investimento regional em sistema de coleta seletiva por meio de coleta porta-a-porta e entrega voluntária.

Com a proposta de alguns municípios cooperarem entre si para a viabilização de tais sistemas, houve grande redução dos RSU destinados a aterros sanitários. Nessa configuração, 28,5% dos RSU foram desviados dos aterros, sendo reciclados, compostados ou incinerados nas usinas de tratamento. Os municípios de Ribeirão Pires e São Bernardo do Campo foram os maiores beneficiados, conseguindo reduzir a disposição final para menos da metade do que foi gerado (Figura 67).

Figura 67 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 2, de 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

A implantação da usina de tratamento SPAR-URE em São Bernardo do Campo foi extremamente efetiva nessa configuração de análise, conseguindo reduzir 41,9% do que antes era destinado para o aterro sanitário de Mauá, representando 13,4% dos RSU totais gerados pela sub-região. Já em relação à implantação da usina de

tratamento SPAR-TMB, esta teve maior efetividade para o município de Ribeirão Pires, desviando 54% dos RSU que iriam para o aterro de Mauá, e menor efetividade para os municípios de Mauá e Santo André. Isso sucinta a importante discussão de quando as vantagens locais ou regionais justificam a viabilização de uma estrutura compartilhada como a usina SPAR-TMB.

A usina acabou por favorecer o município que menos gera RSU, Ribeirão Pires, devido a capacidade da usina ser distribuída igualmente entre as partes envolvidas. A definição de como ocorre essa partilha não necessariamente deve ser realizada dessa forma igualitária. Para de fato ser efetivada a viabilização compartilhada dessa estrutura, todos os municípios envolvidos devem identificar vantagens em sua implementação. Nesse caso, onde Santo André minimiza 13,3% de sua disposição final e utiliza a mesma cota de tratamento que os demais municípios, o município necessita avaliar se é uma vantagem suficiente ou não para a viabilização da nova infraestrutura.

Além disso, as soluções propostas também devem avaliar quais são as vantagens regionais, além das específicas de cada município. No caso da implantação da usina SPAR-TMB, pode-se considerar que desviar sozinha 9,5% do total gerado na sub-região é uma grande vantagem regional a sua implantação. Assim sendo, tendo impacto regional positivo e impacto positivo nos municípios envolvidos mesmo não igualitário, o gargalo da análise de viabilidade acaba sendo a viabilização financeira, a ser tratada mais adiante envolvendo as três configurações.

Em relação à regionalização da reciclagem, em verde nas Figuras 67 e 68, esta auxiliou pouco no aumento dos desvios de RSU, ainda mais comparado com a implantação das usinas. A elevação percentual anual de 0,25% da taxa de reciclagem, principalmente considerando o aumento da cobertura de atendimento da população, se mostrou pouco eficiente. Porém, prever maiores valores de taxas de reciclagem não teria sido o mais adequado a se considerar, já que os municípios da sub-região do Sudeste apresentam baixos indicadores de reciclagem, e sua elevação exige tempo para adesão da população. Em relação à reciclagem, Santo André e São Bernardo do Campo são exceções ao apresentarem maiores quantidades de RSU reciclados ao final da simulação. Reciclaram mais justamente por terem programas de coleta seletiva melhor estruturados que os demais municípios desde o início.

Figura 68 – Estimativa da quantidade total de RSU destinados para tratamento, reciclagem e disposição em aterro de cada município após a simulação para a configuração 2, de 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

O último cenário proposto, configuração 3, consiste em todos os municípios da sub-região Sudeste participando de ações regionalizadas de gestão de RSU. Nesse caso, Santo André, Diadema e São Caetano do Sul implantam uma usina SPAR-TMB, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra viabilizam outra e São Bernardo do Campo implanta usina SPAR-URE. Além de todos os municípios participarem do plano de expansão da coleta seletiva regional.

O prognóstico para esse cenário é o melhor entre os três analisados do ponto de vista de minimização de RSU encaminhados para aterros sanitários, beneficiando 38,5% dos resíduos gerados na sub-região. A reciclagem também se apresentou mais efetiva, reciclando 6% do volume total gerado, bem acima dos 3,5% apresentados para a configuração 1. Mas a implantação das três usinas de tratamento foi determinante para alcançar o bom indicador regional de desvio apresentado.

É importante frisar que houve uma reorganização do arranjo de utilização das usinas de tratamento. Nessa configuração, Diadema e São Caetano do Sul se articulam com Santo André para implantar uma usina. E novamente o maior beneficiado foi o menor gerador, São Caetano do Sul, conseguindo desviar 44,3% de seus RSU gerados (Figura 69). Santo André utilizou uma menor porcentagem ainda da capacidade da usina, desviando apenas 11,9%. Dois fatores podem ser apontados para essa repetida ocorrência. O primeiro consiste na limitação da capacidade da usina proposta, que foi pensada de forma a atender qualquer tipologia de arranjo intermunicipal. Em cenários onde há compartilhamento entre infraestruturas com Santo André, haverá necessariamente que se ajustar a capacidade da usina para que de fato tenha maior impacto nesse município.

O segundo fator consiste no fato de Santo André ser um gerador muito maior de RSU que seus municípios vizinhos. No caso de São Bernardo do Campo, que também é um grande gerador, este consegue melhorias nas taxas de desvio nesse cenário por utilizar uma infraestrutura sozinho. Portanto, para que ocorra melhores vantagens com o compartilhamento de infraestruturas, os municípios que participam dos arranjos intermunicipais, precisam ter certa equidade de geração de RSU.

No outro arranjo, entre Mauá, Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires, isso fica evidenciado. Todos os três municípios envolvidos conseguiram reduzir entre 44,5% a 54% a disposição final. Nesse arranjo ficou evidente que a nova infraestrutura compartilhada proporcionou benefícios consideráveis a todos os municípios participantes, assim como benefícios para a sub-região como um todo, ao desviar 9,4% do total de geração de RSU da sub-região.

Figura 69 – Estimativa das taxas de destinação de RSU para cada município da sub-região Sudeste com base nas simulações realizadas, na configuração 3, de 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Ressalta-se, também, a importância na participação de todos os municípios da sub-região Sudeste na integração da gestão de RSU. Diadema, Rio Grande da Serra e São Caetano do Sul, municípios estes que saíram do Consórcio do Grande ABC, foram prejudicados quando não utilizaram usinas de tratamento ou implantação de sistema de coleta seletiva regional na configuração 2. Na Figura 70, fica evidenciado que ao participarem (configuração 3), juntos aumentaram a taxa de desvio de 1,29% para 34,9%, desviando da disposição final 8% do total de RSU gerados na sub-região Sudeste.

Figura 70 – Comparação entre as configurações 2 e 3 das taxas de destinação de RSU somadas dos municípios Diadema, Rio Grande da Serra e São Caetano do Sul

Fonte: Elaborada pelo autor

Outro apontamento importante refere-se à variação da taxa de disposição de RSU em aterro ao longo do tempo, com a implantação de sistemas SPAR-URE. Como esses sistemas demoram quatro anos para entrarem em operação, os resultados demoram cinco anos para serem visualizados (Figura 71). Ou seja, apenas no quinto ano de simulação das configurações 2 e 3, a taxa de disposição de RSU foi reduzida. Assim, tais soluções que centralizam o recebimento e tratamento dos RSU devem ser pensadas como políticas públicas de longo prazo e são suscetíveis a problemas de implantação ou operacionalização. Nos casos analisados, parar a operação de um sistema SPAR-URE ou prolongar o tempo de sua implantação impactaria diretamente na quantidade de RSU que seriam destinados a aterros sanitários. Outro ponto consiste na redução da taxa de RSU tratados ao longo do tempo devido ao aumento populacional e consequente aumento da geração per capita de RSU. Isso indica a necessidade de se pensar, continuamente, em novos investimentos e em novas formas de tratamento, não bastando apenas a implantação pontual dos sistemas SPAR-URE como proposto nas configurações 2 e 3.

Figura 71 – Estimativa das taxas de destinação de RSU ao longo do período de 20 anos de simulação para as configurações 2 e 3

Fonte: Elaborada pelo autor

Com os apontamentos das configurações realizados, também é possível realizar a análise do impacto de cada configuração no prolongamento do tempo de vida útil dos aterros presentes na sub-região. Segundo levantamento da CETESB (2018a), o aterro municipal de Santo André possui condição de receber em torno de 474 mil toneladas de RSU. Com isso, sabe-se que o aterro terá uma vida útil entre 1 e 2 anos em todas as configurações simuladas (Figura 72). Mesmo com a implantação de sistemas de beneficiamento dos resíduos ou aumentando as taxas reciclagem, não haveria possibilidade de aumento da vida útil do aterro. Como alternativa nessa situação, há a possibilidade de expansão do aterro ou destinar a outro aterro sanitário, sendo, no caso, uma opção destinar para o aterro privado Lara, localizado em Mauá.

Figura 72 – Estimativa da quantidade acumulada no tempo de RSU que são encaminhados para o aterro municipal de Santo André, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Caso todos os municípios da sub-região Sudeste destinem para o aterro de Mauá, o problema apenas é transferido de município. O relatório emitido pela CETESB (2018b) para o aterro de Mauá afirma que há capacidade máxima para o recebimento de 6,38 milhões de toneladas de RSU. Como as usinas de tratamento demoram 4 anos para entrarem em operação, as diferentes configurações propostas auxiliam pouco na extensão do tempo de vida útil de aterro, passando de 6 anos, considerando a configuração 1, para 8 anos com a configuração 3 (Figura 73). Cenário ainda otimista pois não leva em consideração outros municípios que destinam para o aterro sanitário Lara, como Itanhaém, Juquiá e Ferraz de Vasconcelos, e não considera outras fontes de geração dispostas nesse mesmo aterro.

Figura 73 – Estimativa da quantidade acumulada de RSU que são encaminhados para o aterro Lara considerando que todos os municípios da sub-região Sudeste utilizem tal aterro, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Na hipótese de Santo André encontrar outra forma de disposição e não utilizar o aterro sanitário de Mauá, o cenário é um pouco mais otimista (Figura 74).

Figura 74 – Estimativa da quantidade acumulada de RSU que são encaminhados para o aterro Lara, considerando que Santo André não utilize tal aterro, simuladas para cada configuração no período entre 2015 a 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Nesse cenário, o aterro de Mauá poderia estender de aproximadamente 9 anos (Configuração 1) para 13 anos na configuração 3. Percebe-se, portanto, pelas configurações analisadas, que o sistema regional de gestão de RSU tem grande potencial de reduzir a taxa de disposição final. Mas as influências de Santo André e de São Bernardo do Campo no sistema são enormes por serem os maiores geradores de RSU da sub-região. Caso não sejam implantados sistemas mais eficientes e integrados, principalmente nesses dois municípios, a sub-região Sudeste vai sofrer com as consequências de destinar a geração de RSU para municípios cada vez mais distantes.

Com um cenário insustentável como o que vem sendo realizado na sub-região, representado na configuração 1 analisada, a busca por alternativas como melhoria das taxas de reciclagem e fomento ao tratamento de resíduos orgânicos devem ser viabilizadas urgentemente. A fração dos orgânicos corresponde a aproximadamente 51% dos RSU gerados (BRASIL, 2012). E verificou-se pelo modelo, a efetividade de se implantar alternativas pautadas no beneficiamento dessa fração de resíduos por meio das usinas de tratamento.

O custo de operação de um sistema integrado e que priorize o beneficiamento dos RSU é de fato mais caro em comparação com o custo de operação de um sistema pautado na lógica de coleta e disposição final, vide os custos totais para as três configurações apresentadas (Figura 75). Sem contar com o investimento inicial total estimado de R\$ 841,4 milhões, sendo R\$ 140,2 milhões para cada unidade SPAR-TMB e R\$ 561 milhões para a implantação da usina SPAR-URE de São Bernardo do Campo (SANTO ANDRE, 2016).

Figura 75 – Estimativas dos custos totais de operação do sistema para cada uma das configurações

Fonte: Elaborada pelo autor

Mesmo com os ganhos de escala ao se regionalizar a operação, os custos da valorização dos RSU foram maiores que os custos de aterramento, visto que, na configuração 3, 30,23% dos custos totais (Figura 76) foram utilizados para o tratamento de 32,4% dos RSU totais gerados na sub-região (Figura 77). Enquanto 32,21% dos custos totais foram gastos com disposição em aterro, representando a disposição de 61,5% da taxa de destinação.

Figura 76 – Estimativas das incidências de cada uma das formas de destinação no custo total de operação

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 77 – Estimativas das taxas de destinação de RSU para cada configuração simulada entre 2015 e 2035

Fonte: Elaborada pelo autor

Entretanto, a viabilidade de sistemas que prezam pelo beneficiamento dos resíduos não deve ser comparada com base nos sistemas de aterramento. Caso contrário, sempre se optará pela disposição final. Os aterros não devem deixar de existir, até porque todo sistema de valorização gera rejeito em seus processos de beneficiamento, mas sim coexistirem com outras formas de destinação. Um sistema mais complexo, que preze por outros aspectos além do financeiro, será mais custoso mas trará benefícios como a extensão do tempo de vida útil dos aterros sanitários, redução da ocupação de solo com aterros, fomento a cadeia produtiva de matéria reciclável e de composto orgânico, produção de energia elétrica nas usinas de tratamento propostas, entre outros ganhos que devem ser computados na seleção por uma solução.

Na contramão desse argumento, os custos com reciclagem foram baixos (Figura 71), mas foram baixos justamente devido as ações terem sido pulverizadas e não terem surtido tanto efeito na redução da destinação de RSU para os aterros nas configurações analisadas. Principalmente devido ter sido considerada a linearidade de causa e efeito entre a taxa de reciclagem com o aumento do acesso aos habitantes a coleta seletiva. O aumento da taxa de reciclagem também depende da maior conscientização ambiental e adesão à reciclagem por parte dos munícipes, caso contrário, o sistema continuará não sendo efetivo. Apenas aumentar o número de PEVs, Ecopontos e caminhões de coleta não garante o aumento da reciclagem, que depende também do aumento da adesão e conscientização ambiental dos cidadãos. Há necessidade de uma articulação regional para a sensibilização da problemática dos resíduos sólidos urbanos por meio de educação ambiental, políticas de incentivo e instrumentos de penalização. Além, claro, do estímulo ao controle social sobre os serviços públicos prestados por cada município.

As alternativas à disposição final que envolvem ações pulverizadas, com impacto mais local que regional, como é o caso apresentado da reciclagem, deve ser discutida no âmbito dos próprios municípios. Infraestruturas como centros de triagem, PEVs, Ecopontos e outras infraestruturas que possuem atuação local, podem ser viabilizadas via financiamento federal em caso de o município ter elaborado Plano de Gestão de Resíduos Sólidos, como é o caso da maioria dos municípios da sub-região Sudeste. Por outro lado, a viabilização de infraestruturas que pregam pela operacionalização de forma mais centralizada, como o caso das usinas de tratamento, parece fazer mais sentido em serem discutidas no âmbito regional. Claro que as duas formas, centralizadas e descentralizadas, devem atuar concomitantemente.

É inegável que os sistemas mais complexos, que prezam por diferentes formas de beneficiamento, terão, portanto, maior custo de operação e grande investimento em infraestruturas compartilhadas. Do ponto de vista da viabilização das usinas, existem ainda desafios a serem enfrentados. Alguns municípios saíram do Consórcio do Grande ABC, principalmente pelo custo oneroso do consórcio, que é rateado entre os municípios participantes. Se por um lado dificulta a articulação intermunicipal, por outro podem surgir novos arranjos específicos onde os municípios que possuem melhor potencial de integração da gestão de RSU, como é o caso dos municípios de Mauá, Rio Grande da Serra e Ribeirão Pires, viabilizem consórcio menores voltados

apenas para a integração da gestão de RSU. Tais consórcios poderiam apresentar estrutura de governança similar as existentes no Consórcio do ABC, com assembleia geral, conselhos e câmaras técnicas, estabelecendo programas prioritários de gestão de RSU e rateio dos custos, realizando o acompanhamento regional dos indicadores e fiscalizando os serviços contratados ou concedidos.

Nesse caso, também seria possível buscar alternativas para o financiamento e a viabilização das infraestruturas. Alternativas, estas, via bancos federais, como a Caixa Econômica Federal e o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), assim como via programas federais como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que já investiu na sub-região Sudeste na construção de centrais de triagem de recicláveis. O Estado de São Paulo também apresenta fontes de financiamento com o Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição (FECOP), que financia, a fundo perdido, a aquisição de equipamentos e a construção de infraestruturas nos municípios paulistas (SÃO PAULO, 2002), e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), que, por intermédio dos Comitês de Bacias Hidrográficas, viabiliza projetos estruturantes de gestão de RSU (CETESB, 2018).

Porém, a viabilização via governança metropolitana ainda se apresenta fragilizada devido a não instituição do Fundo Nacional de Desenvolvimento Urbano Integrado e o processo de consolidação do Fundo de Desenvolvimento da RMSP. Mas com a futura conclusão do PDUI para a região, com a possível inclusão de projetos estruturantes voltados para a gestão integrada de RSU, pode também ser uma alternativa para a viabilização de infraestruturas regionais ao direcionar os recursos do fundo metropolitano a estes projetos.

Relacionado aos custos de operação, grande parte dos municípios da sub-região Sudeste apresenta sistemas com baixo índice de autossuficiência financeira. E mesmo com os municípios possuindo cobrança de taxa pela prestação do serviço de gestão de RSU, esta forma de cobrança não mitigou o endividamento dos municípios com as prestadoras dos serviços. Então, ao considerar um novo sistema compartilhado que irá aumentar os custos de operação, como foi demonstrada nas simulações das configurações 2 e 3, percebe-se que os municípios não poderão considerar como fontes de receita apenas as taxas de cobrança municipal. Nesse sentido, a própria implantação das usinas de tratamento auxiliaria a encontrar alternativas. Tais estruturas possuem potencial de comercializar energia elétrica, no

caso da SPAR-URE, ou comercializar biogás, no caso da SPAR-TMB. Além da possibilidade de comercialização de composto na Região Metropolitana após estudo de viabilidade. Outra fonte de receita consistiria no tratamento do biogás gerado nos aterros sanitários da sub-região, havendo possibilidade de geração energética e sua comercialização. Além da minimização de custos ambientais indiretos como, por exemplo, a não utilização de terrenos em áreas nobres para a implantação de aterros sanitários, a não poluição do solo, ar e bacias hidrográficas e incremento indireto na saúde dos cidadãos.

Com tais iniciativas, a mitigação da emissão de gases de efeito estufa também poderia se tornar fonte de receita por meio da implantação de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com possível venda de créditos de carbono. Isso seria possível já que haveria tratamento dos gases emitidos tanto com a captura e tratamento do biogás nos aterros sanitários quanto no beneficiamento proposto por meio das usinas de tratamento. Tais novas formas de receita poderiam auxiliar os municípios a aumentarem seus índices de autossuficiência financeira. Como as condições de contorno do modelo não previam receitas, é importante salientar que as análises de viabilidade em relação aos custos de operação devem ser estudadas mais profundamente em casos específicos de arranjos intermunicipais e com dados precisos das oportunidades de comercialização de energia, compostos, biogás e créditos de carbono.

Além das receitas mencionadas, ressaltam-se outras oportunidades com a integração que não foram internalizadas no modelo. Não se analisou a possível redução da poluição ambiental em locais de disposição inadequadas, a possível redução da geração de gases do efeito estufa, a geração de emprego com a operação do sistema, a consolidação de mercado regional de compostos orgânicos, os impactos na vizinhança das infraestruturas, as externalidades ambientais (risco de contaminação do solo, do ar e da bacia hidrográfica), o impacto na reinserção de matéria reciclável no processo produtivo fabril regional, a possibilidade de criação de novas indústrias voltadas a utilização dos materiais recicláveis, a inclusão social, os ganhos financeiros com a reciclagem, entre outros fatores que poderiam agregar valor à discussão.

Ressalta-se, por último, que os resultados discutidos foram extraídos de modelagem por simulação, e, por essa razão, representa uma versão aproximada da realidade. Diversos parâmetros do modelo foram escolhidos embasados em bibliografia, visando

a aproximação com o sistema real. Porém existem interferências de difícil mensuração como, por exemplo, a qualidade dos resíduos que chegam no sistema SPAR-URE, que alteraria o valor da eficiência de triagem do sistema. No mesmo viés, também existe a dificuldade de mensuração e coleta de dados municipais em relação aos RSU. No caso, o dado “geração de RSU *per capita*” (ton/hab/ano) de cada município é coletado das concessionárias, podendo haver aproximações e erros humanos no processo. Nesse sentido, é importante salientar que modelagens consistem em representações da realidade e que auxiliam em processos de decisões, porém possuem limitações intrínsecas relacionadas à própria modelagem e aos dados inseridos.

8 CONCLUSÕES

Entre 1994 e 2015, a geração de RSU na RMSP passou de 10.635 ton/dia (NETO e GUIMARÃES, 2000) para 18.679 ton/dia (SNIS, 2017). Mesmo assim, a região continuou utilizando aterramento como a principal solução para os RSU gerados. Assim, há pouca disponibilidade de locais para disposição final na região, acarretando em utilização de aterros cada vez mais distantes dos centros urbanos e em fluxos intensos de resíduos entre os municípios. Essa lógica de geração, coleta e aterramento utilizada na região pode ser modificada com a implantação de sistemas de reciclagem e beneficiamento da fração orgânica. Porém, a RMSP ainda apresenta baixos índices de desvio dos aterros, por meio de iniciativas de reciclagem ou outra forma de beneficiamento, apesar de ser uma diretriz clara da PNRS e de diversos planos municipais de gestão de RSU dos municípios da região.

Com as dificuldades regionais na localização de novos locais aptos a serem dispostos RSU, com os processos de conurbação motivando a integração dos sistemas e com o amplo fluxo de resíduos entre os municípios, a integração dos sistemas de gestão de RSU dos municípios da RMSP foi analisada, nessa dissertação, como proposta alternativa a lógica atual. Avaliar o potencial dessa integração consistiu em identificar alguns arranjos segundo os quais os municípios, de forma articulada, conseguiriam viabilizar seus próprios sistemas de gestão de RSU, reduzindo os índices de disposição final, bem como viabilizando infraestruturas de tratamento dos resíduos e integrando sistemas de reciclagem. Além disso, considerou-se estruturas de governança que poderiam absorver tais articulações intermunicipais.

Como a governança metropolitana da RMSP se mostrou ainda em processo de construção, com o PDUI ainda em fase de consolidação, com a estrutura de governança ainda não implementada e com o Fundo Metropolitano sem diretriz estabelecida de como serão alocados os recursos e rateados os custos, optou-se por avaliar o potencial de integração de forma sub-regionalizada. Nesse contexto, entendeu-se que a sub-região Sudeste da RMSP seria a mais adequada a ser analisada, pela grande disponibilidade de dados da sub-região, existência de importante consórcio regional no cenário nacional, longa maturidade de diálogo entre os municípios e existência de Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Porém, avaliar o potencial de integração considerando tantos arranjos e sistemas de gestão de RSU possíveis, mesmo de forma sub-regionalizada, torna-se complexa, demandando assumir certas condições de contorno. Para isso, os modelos matemáticos se mostraram úteis como ferramenta de apoio aos processos decisórios, sendo menos custoso modelar os sistemas que testar cada uma das alternativas na prática, além de permitir a simulação de diferentes cenários. O trabalho revisou alguns dos modelos atuais utilizados para avaliar sistemas regionais de gestão de RSU. Foram priorizados os modelos que possuem abordagem *bottom-up*, onde as particularidades regionais são consideradas, escolhendo-se o modelo apresentado por Simonetto e Löbner (2014), pautado em simulação e que utiliza *System Dynamics* como ferramenta de modelagem. Ao contrário dos modelos que utilizam abordagem *top-down*, onde se encontra apenas uma solução ótima para o sistema avaliado, o modelo *bottom-up* utilizado auxiliou na análise de diferentes configurações criadas a partir da realidade regional.

A simulação das configurações propostas, realizada para a sub-região Sudeste da RMSP, mostrou que é urgente a necessidade de se aumentar as taxas de reciclagem e valorização da fração orgânica da sub-região. Em todas as configurações analisadas ambos os aterros existentes na sub-região apresentaram curta vida útil, sendo necessária a expansão dos aterros ou a disposição em municípios fora da sub-região.

Constatou-se que na escala regional, a implantação das infraestruturas que centralizam a gestão, como é o caso das usinas de tratamento, teriam maior potencial de integração e maior efetividade na redução dos RSU dispostos em aterro que as ações descentralizadas, representadas pelo aumento da coleta seletiva. Os custos de investimento em tais infraestruturas centralizadoras são altos e seriam melhor viabilizadas quando compartilhadas, por meio de alguma das alternativas que foram apresentadas, via fundos federais ou estaduais. Por outro lado, as ações descentralizadas e pulverizadas nos municípios possuem custo menor de investimento e poderiam ser viabilizadas pelo próprio município por meio dos mesmos fundos. De qualquer forma, ambas as ações se mostraram necessárias para a redução dos RSU dispostos em aterro, devendo ocorrer de forma concomitante.

Importante ressaltar que as usinas de tratamento teriam grande efetividade regional na redução dos RSU dispostos em aterro sanitário, principalmente quando viabilizada entre municípios que apresentam similaridade entre suas gerações de RSU. Os

custos de operação do sistema com essas usinas de fato aumentariam, mas poderiam ser viabilizados por meio de novas fontes de receita, além das taxas municipais de cobrança pela gestão de RSU. Como possível receita, haveria a possibilidade de venda de composto, material reciclável, energia, biogás e crédito de carbono, devendo haver aprofundamento das análises em arranjos intermunicipais específicos.

Em relação à governança, com o atual contexto de fragilização do consórcio do Grande ABC e com a governança da RSMP ainda sendo estruturada, haveria a possibilidade de se propor consórcios menores com foco em gestão dos RSU, apresentando estrutura similar à do consórcio da sub-região Sudeste, com capacidade de fiscalizar os contratos de concessões, captar investimentos e ratear os custos envolvidos na operação do sistema. Por outro lado, enfatiza-se que a análise da configuração 2, que caracterizou a fragmentação atual do consórcio do Grande ABC, evidenciou um aspecto situacional político do consórcio, que varia no tempo conforme as dinâmicas municipais. Mas foi útil no sentido de diagnosticar eventuais cenários de desarticulações que podem ocorrer no tempo, assim como representou um cenário intermediário entre a falta de integração e a integração total.

Ressalta-se que os resultados encontrados por meio de simulação do modelo não refletem a realidade, sendo uma aproximação. Mas apresentou-se como uma ferramenta essencial nas discussões do potencial de integração, auxiliando nas análises qualitativas do diagnóstico inicial realizado. Além de ser uma forma de embasar os processos de decisão, que são normalmente realizadas de forma empírica. O modelo utilizado teria condições de analisar as demais sub-regiões da RMSP, com a condição de incluir os parâmetros e especificidades regionais. Seria necessário, nesse caso, incorporar o funcionamento e levantamento de dados dos sistemas de gestão dos municípios envolvidos.

9 RECOMENDAÇÕES PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

A modelagem realizada desconsiderou alguns aspectos que seriam interessantes de serem analisados em uma possível continuação da pesquisa.

A primeira recomendação de trabalho futuro consiste na aplicação do modelo em outras sub-regiões e arranjos institucionais, incluindo outras sub-regiões pertencentes a RMSP. Obviamente que com a consideração local, como foi proposto na estruturação das configurações apresentadas no Capítulo 6.

A segunda recomendação consiste em explorar novos arranjos intermunicipais dentro da própria sub-região Sudeste. Como cada configuração nesse estudo exigiu muito tempo para sua simulação, o estudo ficou condicionado à análise de três configurações propostas, mas outros cenários poderiam ser criados e simulados em um futuro estudo.

A terceira recomendação consiste em assumir novas condições de contorno além das propostas. Seria interessante a análise do potencial de integração em relação aos seguintes aspectos:

- Projeção das receitas municipais arrecadadas com a taxa municipal dos serviços de gestão de RSU, assim como avaliar as diferentes formas de cálculo existentes hoje nas taxas dos municípios da sub-região Sudeste;
- Estimativa das receitas com a venda dos compostos orgânicos, materiais recicláveis, energia elétrica, biogás e créditos de carbono em diferentes configurações de análise;
- Mensuração da quantidade de resíduos sólidos dispostos de forma inadequada, já que o modelo proposto considerou que a geração era totalmente coletada pelo município;
- Avaliação da aplicação de diferentes taxas de crescimento da geração *per capita* no modelo. Com isso seria possível avaliar diferentes cenários com políticas de minimização da geração de RSU;
- Mensuração e análise da quantidade de gases de efeito estufa emitidos em diferentes configurações, com a contabilização também da quantidade que foi mitigada;

- Buscar novas formas de mitigação da geração e tratamento dos RSU a serem incorporadas no modelo proposto, com outras características e taxas de eficiência;
- Explorar cenários que visem encontrar alternativas otimistas para a reciclagem dos RSU.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC, **Protocolo de Intenções**. Protocolo de intenções celebrado pelos municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra, visando a Constituição de consórcio público Intermunicipal. Grande ABC. 2009. [online]. Disponível em: <<http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/pagina/PROTOCOLO%20INTENCOES%20OUT%202009.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2018.

ABC, **Estatuto do Consórcio Intermunicipal Grande ABC**. 2017 [online]. Disponível em: <<http://consorcioabc.sp.gov.br/imagens/pagina/ESTATUTO%20CONS%C3%93RCIO%20P%C3%9ABLICO%202017.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2018.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2008**. São Paulo. 2008.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2009**. São Paulo. 2009.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2010**. São Paulo. 2010.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2011**. São Paulo. 2011.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2012**. São Paulo. 2012.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2013**. São Paulo. 2013.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2014**. São Paulo. 2014.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2015**. São Paulo. 2015.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**. São Paulo. 2016.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2017**. São Paulo. 2017.

ALIDI, A. A goal programming model for an integrated solid waste management system. **Arabian Journal of Science and Engineering**, 23(1B), 3–16. 1998.

ARAÚJO, S. M. V. G.; FERNANDES, A. S. A., Os Desafios da Governança Interfederativa. In: IX Encontro da Associação Brasileira de Ciência Política (ABCP). 2014. Brasília. Anais Eletrônicos do **IX Encontro da Associação Brasileira de Ciência Política**, 2014.

ASEFI, H., LIM, S., A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**. Accepted Manuscript. 2017.

AZEVEDO, H. P. L. **Tendências da Gestão Intermunicipal em Aglomerações Urbanas Metropolitanas**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

AZEVEDO, S.; GUIA, V.R. dos M., Reforma do Estado e gestão metropolitana no Brasil: o caso de Belo Horizonte. **Cadernos de Textos**. Belo Horizonte, Fundação João Pinheiro e Escola de Governo, n.2, 2000.

BARTELMUS, P. The value of nature: valuation and evaluation in environmental accounting. In UNO, K.; BARTELMUS, P. (eds.) **Environmental accounting in theory and practice**, p 263–307, Kluwer Academic Publishers. Grã-Bretanha. 1998.

BEIGL, P., GAMARRA, P., LINZNER, R. Waste forecasts without ‘rule of thumb’: Improving decision support for waste generation estimations. **10th International Waste Management and Landfill Symposium**. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2005.

BEIGL, P., LEBERSORGER, S., SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: a review. **Waste Management**, 28(1), 200–214. 2008.

BESSEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

BESSEN, G. R. *et al.* Coleta Seletiva na Região Metropolitana de São Paulo: Impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo v. XVII, nº 3, p. 259-278. 2014.

BITTENCOURT, J. L., **O Metropolitano na Agenda Governamental: Uma história recente**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Brasília. 2011.

BODNER, R., CASSELL, A., ANDROS, P. Optimal routing of refuse collection vehicles. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, 96(SA4), 893–903. 1970.

BRASIL. Emenda Constitucional Nº 1, de 17 de outubro de 1969. Edita o novo texto da Constituição Federal de 24 de janeiro de 1967. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1969.

BRASIL. Lei Complementar N° 14, de 8 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1973.

BRASIL. Lei Complementar N° 20, de 1 de julho de 1974. Dispõe sobre a criação de Estados e Territórios. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1974.

BRASIL. **III PND: Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (1980-1985)**. Brasília, Serviço gráfico do IBGE, 1979.

BRASIL. Constituição de 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal. Centro Gráfico. 1988.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília. 2012.

BRASIL. Lei Federal 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. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2015.

BRASIL. **Mensagem nº 13, de 12 de janeiro de 2015**. Brasília, 2015a. [online] Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/Msg/VEP-13.htm>. Acesso em: fevereiro de 2018.

BRASIL, Lei N° 13.683, de 19 de junho de 2018. Altera as Leis nos 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), e 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2007**. São Paulo. 2008. p. 180. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: outubro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2010**. São Paulo. 2011. p. 186. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: outubro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2011**. São Paulo. 2012. p. 218. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: outubro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Santo André**. São Paulo. 2003a. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Mauá**. São Paulo. 2003b. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Santo André**. São Paulo. 2004a. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Mauá**. São Paulo. 2004b. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Santo André**. São Paulo. 2010a. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2015**. São Paulo. 2016. p. 128. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: outubro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2016**. São Paulo. 2017. p. 126. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: outubro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos 2017**. São Paulo. 2018. p. 122. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Santo André**. São Paulo. 2018a. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos - IQR - município Mauá**. São Paulo. 2018b. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#>. Acesso em: novembro de 2018.

CHANG, N. B., DAVILA, E. Minimax regret optimization analysis for a regional solid waste management system. **Waste Management**, 27, 820–832. 2007.

CHANG, N. B. *et al.*, Empowering Systems Analyses for Solid Waste Management: Challenges, Trends and Perspectives. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, 41:16, 1449-1530, 2011.

CHANG, N. B.; SHOEMAKER, C.; SCHULER, R., Solid Waste Management Analysis with Air Pollution and Leachate Impact Limitations, **Waste Management & Research**, vol. 14, n 5, 463-481 ,1996.

CHANG, N. B., CHEN, Y., WANG, S. A fuzzy interval multiobjective mixed integer programming approach for the optimal planning of solid waste management systems. **Fuzzy Sets and Systems**, 89(1), 35–60. 1997.

CHANG, N. B. *et al.*, A., **Sustainable Solid Waste Management: A Systems Engineering Approach**, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. p. 908. 2015.

CHANG, N. B. **Solid waste management system planning with environmental quality constraints**. (Tese), Cornell University, Ithaca, New York. 1989.

CONISUD, Consórcio Intermunicipal da Região Sudoeste da Grande São Paulo. **Plano Plurianual Territorial Participativo 2014-2017**. 2014. [online]. Disponível em: <www.conisud.sp.gov.br/downloads/PPA_CONISUD_2014_2017.pdf>. Acesso em: setembro de 2018.

DEUS, R. M., BATTISTELLE, R. A. G., SILVA, G. H. R., Current and future environmental impact of household solid waste management scenarios for a region of Brazil: carbon dioxide and energy analysis. **Journal of Cleaner Production**. Accepted Manuscript. 2016.

DEWEES, D., HARE, M. Economic Analysis of Packaging Waste Reduction. **Canadian Public Policy - Analyse de Politiques**, 24, 453–470. 1998.

DIADEMA, Projeto de Lei Complementar N° 018, de 03 de julho de 2017. Autoriza o município de Diadema a retirar-se do Consórcio Intermunicipal do Grande ABC. **Diário Oficial de Diadema**, 2017.

DYSON, B., CHANG, N. B. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste Management**, 25, 669–679. 2005.

ESMAILI, H. Facility selection and haul optimisation model. **Journal of the Sanitary Engineering Division**, 98, 1005–1021. 1972.

FAWCETT, T., HOLLAND, M., HOLMES, J., POWELL, J. **Evaluation of multicriteria analysis as an aid to decision making in waste management**. Report AEA-EE-0426 ETSU. Harwell. 1993.

FERNANDES, A. S. A.; ARAUJO, S. M. V. G. de. A criação de municípios e a formalização de regiões metropolitanas: os desafios da coordenação federativa. **urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana** [online]. 2015, vol.7, n.3, pp.295-309. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692015000300295&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: agosto de 2018.

FERRAO, J., Governança, governo e ordenamento do território em contextos metropolitanos. In Ferreira, A., Rua, J., Marafon, G. J. e Silva, A. C. P. (orgs), **Metropolização do espaço: gestão territorial e relações urbano rurais** (pp. 255-282, Rio de Janeiro: Consequência, 2013.

FIRKOWSKI, O. L. C. F. Metrópole e regiões metropolitanas no Brasil: Conciliação ou Divórcio? In: **Território metropolitano, políticas municipais – por soluções conjuntas de problemas urbanos no âmbito metropolitano**. IPEA. 2013.

GÜNTHER, W., Gestão de resíduos sólidos: uma questão de saúde nas cidades. **PNMA: 30 anos da Política Nacional de Meio Ambiente**. São Paulo. 2v. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2011.

HELMS, B., CLARK, R. Locational models for solid waste management. **Journal of Urban Planning and Development ASCE**, 97(1), 1–13. 1974.

HIGHFILL, J., McASEY, M., WEINSTEIN, R. Optimality of recycling and the location of a recycling center. **Journal of Regional Science**, 34, 583-597. 1994.

IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro. 193 p. 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010/setores censitários**. 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Taxa de Urbanização 1940 - 2010. 2010a** [online]. Disponível em: <<https://serieestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=POP122>>. Acesso em: agosto de 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Brasil em síntese: Panorama das Cidades e Estados**. 2017. [online]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: junho de 2018.

INGHELS, D., DULLAERT, W. An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling. **Waste Management & Research**. 29(4) 351–370. 2010.

IPEA. **Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil. Arranjos Institucionais de Gestão Metropolitana – Região Metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 2013.

COSTA, M. A. *et al.*, Do processo de metropolização institucional à implementação do estatuto da metrópole: dois balanços, suas expectativas e incertezas. In: MARGUTI, B. O., COSTA, M. A., FAVARÃO, C. B. (Orgs.) **Brasil metropolitano em foco: desafios à implementação do Estatuto da Metrópole**. Brasília: Ipea, 2018.

COSTA, M. A., Financiamento metropolitano no brasil: um panorama de suas condições, seus desafios e suas perspectivas. In: MARGUTI, B. O., COSTA, M. A., FAVARÃO, C. B. (Orgs.) **Brasil metropolitano em foco: desafios à implementação do Estatuto da Metrópole**. Brasília: Ipea, 2018.

SANTOS, M. O., Interpretando o estatuto da metrópole: comentários sobre a lei no 13.089/2015. In: MARGUTI, B. O., COSTA, M. A., FAVARÃO, C. B. (Orgs.) **Brasil metropolitano em foco: desafios à implementação do Estatuto da Metrópole**. Brasília: Ipea, 2018.

JACOBI, P. R., BESEN, G. R., Gestão de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de São Paulo: avanços e desafios. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 2, p. 90-104, abr./jun. 2006.

KARAVEZYRIS, V., TIMPE, K., MARZI, R. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. **Mathematics and Computers in Simulation**, 60, 149–158. 2002.

KOLLIKKATHARA, N., FENG, H., YU, D. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. **Waste Management**. 30, p. 2194–2203. 2010.

KUM, V. *et al.* Improving the solid waste management in Phnom Penh city: a strategic approach. **Waste Management**. 25, p. 101–109. 2005.

LOPES, A. Gestão Metropolitana no Brasil: da Coerção simétrica ao Voluntarismo sem Modelo, em busca da responsabilidade política com resultados. In: SILVA, C. A.; FREIRE, D. G.; OLIVEIRA, F. J. G. de. (orgs.) **Metrópole: governo, sociedade e território**. Rio de Janeiro: DP & A: FAPERJ, p. 137-155. 2006.

LU, W., TAM, V. W. Y. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 23. p. 214–223. 2013.

MAHMOUDKHANI, R., VALIZADEH, B., KHAASOO, H. Greenhouse Gases Life Cycle Assessment (GHGLCA) as a decision support tool for municipal solid waste management in Iran. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**. 2014.

MARKS, D. H., REVELLE, C. S., LIEBMAN, J. C. Mathematical models of location: A review. **Journal of the Urban Planning and Development ASCE**, 96(1), 81–93. 1970.

MARSHALL, R. E., FARAHBAKHS K., Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries, **Waste Management**, Volume 33, Issue 4, April 2013, Pages 988-1003. 2013.

MAUÁ, **Plano Municipal de Resíduos Sólidos Mauá - SP**, Mauá, SP. 2012.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Pesquisa MMA com as Unidades da Federação. Ano de referência: 2013**. 2013. [online]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/planos-municipais-de-gest%C3%A3o-integrada-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: agosto de 2017.

MOREIRA, D., GUIMARÃES, V., Regiões metropolitanas e funções públicas de interesse comum: o ordenamento territorial diante do estatuto da metrópole. [online] **Revista de Direito da Cidade**, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rdc/article/view/18847/14065>>. Acesso em: julho de 2017.

MORRISSEY, A. J., BROWNE, J. Waste management models and their application to sustainable waste management. **Waste Management**. 24, p. 297-308. 2004.

NAJM, M. *et al.* An optimization model for regional integrated solid waste management I. Model formulation. **Waste Management and Research**, 2002.

NETO, P. P. C., GUIMARÃES, P. C. V., A gestão dos resíduos sólidos em São Paulo e o desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro pg. 87-104, jul./ago, 2000.

OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. **Municipal waste, Generation and Treatment**. 2015. [online]. Disponível em: <<https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW>>. Acesso em: junho de 2018.

PADILHA, F. V. Q., **Representação política e governança na região metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2018.

PARIKH, J.; PARIKH, K. Valuing environment in developing countries: a challenge. In UNO, K.; BARTELMUS, P. (eds.) **Environmental accounting in theory and practice**, p 321–335, Kluwer Academic Publishers. Grã-Bretanha. 1998.

PAWAN, S. *et al.* **Management of Municipal Solid Waste, Bio Energy for Rural Energization**. Department of Science and Technology, IIT, New Delhi, India, p. 205–209, 1997.

PDUI. Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo. **Caderno de Preliminar – Propostas**. São Paulo. [online] 2017. Disponível em: <https://www.pdui.sp.gov.br/rmsp/?page_id=755>. Acesso em: agosto de 2017.

PDUI. Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo. **Caderno Final de Propostas**. São Paulo. [online] 2018. Disponível em: <https://www.pdui.sp.gov.br/rmsp/?page_id=755>. Acesso em: dezembro de 2018.

PDUI. Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo. **Minuta de Projeto de Lei**. Institui o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo - PDUI-RMSP e dá outras providências. São Paulo. [online] 2018a. Disponível em: <https://www.pdui.sp.gov.br/rmsp/?page_id=755>. Acesso em: dezembro de 2018.

RE, E. S.; OLIVEIRA, V. E., Cooperação intergovernamental na política de mobilidade urbana: o caso do Consórcio Intermunicipal do ABC. **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 111-123, Abr 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692018000100111&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: dezembro de 2018.

RHYNER, C., GREEN, B. The predictive accuracy of published solid waste generation factors. **Waste Management & Research**, 6(1), 329–338. 1988.

ROLNIK, R., SOMEKH, N., Governar as Metrôpoles: dilemas da recentralização. **São Paulo Perspectiva**. São Paulo, v. 14, n. 4, p. 83-90, 2000. [online]. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000400009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: setembro de 2018.

ROSSMAN, L. **A general model for solid waste management facility selection**. Department of Civil Engineering, University of Illinois. 1971.

SABATIER, P. A. Top-Down and Bottom-Up Approaches to Implementation Research: A Critical Analysis and Suggested Synthesis. **Journal of Public Policy**, 6, pp 21-48. 1986.

SALVATO, J.A. Solid waste management. **Environmental Engineering and Sanitation**, fourth ed. Wiley, pp. 662–766, 1992.

SANTO ANDRÉ. **Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Grande ABC**. Consórcio Intermunicipal do Grande ABC. 2016. [online]. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cpla/2017/05/santo-andre.pdf>>. Acesso em: janeiro de 2019.

SÃO PAULO. Constituição Estadual de 1989. **Constituição do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 1989.

SÃO PAULO, Lei Nº 11.160, de 18 de junho de 2002. Dispõe sobre a criação do Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição - FECOP, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, junho de 2002.

SÃO PAULO. Lei Complementar Nº 1.139 de 16 de junho de 2011. Reorganiza a Região Metropolitana da Grande São Paulo, cria o respectivo Conselho de Desenvolvimento e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, junho de 2011.

SÃO PAULO, Decreto Nº 59.094, de 16 de abril de 2013. Institui o Fundo de Desenvolvimento da Região Metropolitana de São Paulo, de que trata o Capítulo IV da Lei Complementar nº 1.139, de 16 de junho de 2011. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, abril de 2013.

SÃO PAULO. **Guia Metodológico do PDUI – RMSP: Minuta**. São Paulo, SP. Março de 2016.

SHMELEV, S. E., POWELL, J. R. Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems, **Ecological Economics**, 59, p. 115-130. 2006.

SIMONETTO, E. O; LÖBLER, M. L. Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. **Prod.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 212-224, Mar. 2014.

SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2011**. Brasília, junho de 2013. 2634 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: outubro de 2018.

SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades. **Série Histórica 2002 - 2016**. 2018. [online]. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: novembro de 2018.

SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2012**. Brasília, maio de 2014. 143 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: outubro de 2018.

SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2015**. Brasília, março de 2017. 173 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: outubro de 2018.

SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2016**. Brasília, março de 2018. 188 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: outubro de 2018.

SOUZA, C., Regiões metropolitanas: condicionantes do regime político. **Lua Nova** [online]. n.59, pp.137-158. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-64452003000200007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: agosto de 2018.

STF, SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. Ação Direta de Inconstitucionalidade nº 1.842/RJ. **Diário da Justiça Eletrônico**, Brasília, n. 181, 16 set. 2013.

SUFIAN, M. A., BALA, B. K. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. **Waste Management**, 27, 858–868. 2007.

TIERNO, R., **Diagnóstico e Sistematização de Estratégias para a Gestão dos Resíduos Domiciliares Aplicáveis a Políticas de Planejamento Urbano**. 2017. 207 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

VIANA, M. A., A articulação regional do Grande ABC. In: CRUZ, J. L. V. (Org). **Brasil, o desafio da diversidade: experiências de desenvolvimento regional**. Rio de Janeiro: Ed. Senac Nacional, 2005.

WILSON, D. C., *et al.*, Integrated sustainable waste management in developing countries. **Waste and Resource Management**. 166(2) p. 52-68. 2013.