



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ROTEIRIZAÇÃO DOS VEÍCULOS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS UTILIZANDO SIG

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)**

PROJETO: 800012/2016-0 / PROCESSO: 170752/2017-8

Laryssa Alvarenga de Moraes (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: laryssamorais14@gmail.com

Dr. Jean P.H.B Ometto (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: jean.ometto@inpe.br

Victor Fernandez Nascimento (CCST/INPE, Coorientador)
E-mail: victor.nascimento@inpe.br

Julho de 2018



RESUMO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) cresce à proporção que aumenta a população e o consumo, impactando diretamente o meio ambiente e a saúde pública. No Brasil, a geração de RSU aumentou 25% de 2012 a 2016. Para os mesmos anos, no estado de São Paulo, local de estudo da presente pesquisa, foram gerados 9.673.200 e 14.669.034 toneladas/ano, respectivamente. Totalizando um aumento de 51% na geração de RSU. Diante disso, cabe as gestões municipais implementar estratégias de curto, médio e longo prazo que permitam controlar e gerenciar, principalmente, os sistemas de serviços de transporte, coleta e disposição final dos resíduos. A maior parte dos gastos envolvidos no sistema de gestão de RSU são com as operações de coleta e transporte. Porém, estas operações vêm ganhando enormes benefícios com a utilização de Sistemas de Informação Geográficas (SIG). Este trabalho utiliza SIG aplicado a roteirização do transporte de RSU para os anos de 2012 a 2016, no qual foi calculado em uma escala regional para os 645 municípios do estado de São Paulo a distância percorrida entre os centros urbanos dos municípios paulistas e os seus respectivos locais de disposição final dos RSU. Os resultados encontrados demonstram que para os cinco anos em análise foram percorridos aproximadamente 417 milhões de quilômetros, que resultou em cerca de 136 mil toneladas de CO₂ emitidas e um gasto de aproximadamente 299 milhões de reais.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Sistema de Informação Geográfica, Roteirização.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabela demonstrativa dos dados dos aterros do estado de São Paulo	18
Figura 2 – Exemplo das rotas lineares elaboradas para o ano de 2016	21
Figura 3 - Exemplo das rotas por vias de transporte elaboradas para o ano de 2016.....	22



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Número de rotas elaboradas nos anos de estudo	20
Tabela 2 - Preço do óleo diesel para os anos de 2012 a 2016	24
Tabela 3 - Distâncias totais percorridas pelos veículos de transporte	25
Tabela 4 - Número de Aterros nos anos de 2012 a 2016.....	26
Tabela 5 – Distâncias das rotas lineares para o ano de 2012.....	27
Tabela 6 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2013	28
Tabela 7 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2014	28
Tabela 8 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2015	29
Tabela 9 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2016	29
Tabela 10 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2012	30
Tabela 11 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2013	30
Tabela 12 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2014	31
Tabela 13 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2015	31
Tabela 14 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2016	31
Tabela 15 - Custo estimado gerado pelo transporte de RSU em 2012.....	33
Tabela 16 - Emissão de CO ₂ dos anos de 2012 a 2016	34

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IERSU	Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos
IQR	Índice de Qualidade de Resíduos
MME	Ministério de Minas e Energia
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG	Sistema de Informação Geográfica



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO	8
2.1. Objetivo Geral	8
2.2. Objetivos Específicos	9
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	9
3.1. Contextualização do Problema	9
3.2. Disposição Final dos RSU	12
3.3. Transporte de RSU	14
3.4. Sistema de Informação Geográfica	14
3.5. Geoprocessamento	15
3.6. Roteirização	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo	16
4.2. Recursos Utilizados	16
4.3. Base de Dados	17
4.4. Processamento Digital	18
4.5. Obtenção das Rotas	19
4.6. Determinação Econômica	23
4.7. Determinação da Emissão	24
5. RESULTADOS E CONCLUSÃO	25
5.1. Distâncias Centros Urbanos e Aterros	25
5.2. Estimativa dos Gastos para Disposição Final de RSU	32
5.3. Estimativa da Emissão de CO ₂ para a Disposição Final de RSU	33
5.4. Considerações Finais	35
REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) está diretamente relacionada ao consumo e ao aumento da população vivendo nas áreas urbanas. O consumo cresce devido as melhorias nas condições socioeconômicas, inovações tecnológicas, estímulos de campanhas publicitárias e está diretamente relacionado aos padrões de consumo adotados pela sociedade. Já a concentração urbana é um fenômeno global, que acontece desde o século passado, e faz com que as áreas urbanas cresçam em detrimento das zonas rurais (BESEN et al., 2010).

No Brasil, cerca de 80% da população reside nas áreas urbanas e as condições de infraestruturas e serviços não conseguem acompanhar o ritmo de crescimento acelerado da urbanização (REZENDE et al., 2013). Neste contexto, destaca-se a gestão adequada dos RSU que é um grande desafio para os países em desenvolvimento (HENRY et al., 2006; SAIKIA e NATH, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2016), a geração de RSU aumentou 25% de 2012 a 2016 no Brasil. Para os mesmos anos, no estado de São Paulo, local de estudo da presente pesquisa, foram gerados 9.673.200 e 14.669.034 toneladas/ano, respectivamente. Totalizando um aumento de 51% na geração de RSU. Com base nos dados anteriores, os RSU gerados pela sociedade merecem um tratamento especial das gestões municipais com a implementação de estratégias de curto, médio e longo prazo que permitam controlar e gerenciar, principalmente, os sistemas de serviços de transporte, coleta e disposição final dos resíduos (GONZÁLEZ & LEAL, 2016).

A maior parte dos gastos envolvidos no sistema de gestão de RSU são com as operações de coleta e transporte, cerca de 50% a 70% dos custos totais deste sistema são destinados a estas tarefas (TCHOBANOGLIOUS et al., 1997). No cenário brasileiro, cerca de 70 milhões de toneladas de RSU são coletados e transportados anualmente e os custos de operação e manutenção associados a estas operações são de aproximadamente 15,6 bilhões de reais/ano (ABRELPE, 2015).



Contudo, Moustafa et al. (2013), ressalta que os serviços de coleta e transporte são áreas da gestão de RSU que vem ganhando enormes benefícios com a utilização de Sistemas de Informação Geográficas (SIG). Segundo Gallardo et al. (2015), os SIG são utilizados como apoio no planejamento de coleta e transporte de RSU, pois são extremamente úteis em trabalhos onde se precisa analisar e tratar dados espaciais.

Uma das aplicações dos SIG, que se destaca neste estudo, são as funções de roteirização. O principal benefício dessas funções é a utilização de mapas digitais editados em ambiente SIG, que servem para simplificar o processo de tomada de decisão na seleção das melhores alternativas econômicas e logísticas. Algumas funções permitem, ainda, o cálculo das distâncias ou comprimentos de linhas que representam os percursos realizados pelos veículos coletores (JUNIOR & FILHO, 2010).

Conforme Malakahmad et al. (2014), em qualquer operação de coleta e transporte de resíduos é importante considerar as rotas dos veículos. E a escolha de rotas eficientes que minimizem a distância, o custo e o tempo destas operações é um objetivo a ser alcançado (CHANG, 1997). Logo, a utilização da tecnologia SIG é amplamente aceita na comunidade de gestão de RSU, pois a tomada de decisão eficaz requer a implementação de técnicas de roteirização de veículos (TAVARES et al., 2009).

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste projeto foi calcular e analisar as distâncias percorridas pelos veículos de RSU, para os anos de 2012 a 2016, do centro urbano de cada município do estado de São Paulo até o seu respectivo local de disposição final dos resíduos, com o intuito de estimar os gastos inerentes a locomoção e também a quantidade de dióxido de carbono emitida pelo tráfego de tais veículos.



2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o que foi proposto inicialmente, os seguintes objetivos específicos se fizeram necessários:

- Calcular as distâncias percorridas pelos veículos de coleta de RSU;
- Estimar os gastos de transporte dos RSU;
- Estimar a emissão de CO₂ decorrente dos veículos no transporte dos RSU;

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

No período a que se refere este relatório, estudos mais aprofundados sobre o tema de RSU foram realizados. Os levantamentos bibliográficos efetuados sobre este assunto tiveram como foco o gerenciamento dos RSU no Brasil, mais precisamente no estado de São Paulo, local designado como área de estudo. Os artigos científicos, as teses e dissertações analisadas serviram para embasar as metodologias aplicadas na confecção das rotas utilizando SIG. O referencial teórico aborda os seguintes assuntos: Contextualização do Problema, Transporte de RSU, Disposição Final dos RSU, Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento e Roteirização.

3.1. Contextualização do Problema

A geração de resíduos cresce à proporção que aumenta a população e o consumo, impactando diretamente o meio ambiente e a saúde pública (BONJARDIM et al., 2016). Os principais problemas associados a gestão dos resíduos são decorrentes de sua geração desenfreada (DE SOUSA & ORSINI, 2013). O cenário de gestão de RSU no Brasil está passando por mudanças nos últimos anos, sobretudo após a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010).



Como decorrência da PNRS, os lixões devem ser extintos para dar lugar a aterros sanitários e os RSU somente devem ser destinados aos aterros quando não apresentarem potencial de reutilização, o que inclui a logística reversa e a reciclagem de quase todos os materiais. De acordo com Lei 11.445/2007, que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico, as prefeituras são responsáveis por assegurar o serviço de limpeza pública, incluindo a coleta e disposição final dos RSU (BRASIL, 2007). Neste âmbito, percebe-se uma participação maior dos estados na transferência de recursos para os municípios e na busca de estruturação de soluções consorciadas.

O montante de RSU coletado no Brasil em 2016 foi de 71,3 milhões de toneladas. Para este mesmo ano os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de quase 78,3 milhões de toneladas no país, resultante de uma queda de 2% no total gerado em relação à 2015 (ABRELPE, 2016). Em contrapartida, no ano de 2015, a geração total atingiu o equivalente a 79,9 milhões de toneladas de RSU gerado no país, indicando um crescimento de 1,7% em relação ao ano anterior, porém, ainda configura um crescimento a um índice inferior ao registrado em anos anteriores. Esse aumento na geração inferior aos percentuais registrados em anos anteriores e a queda na geração no ano de 2016, é reflexo principalmente da crise econômica e política vivenciada no país (ABRELPE, 2015; 2016).

No tocante à disposição final, houve aumento em números absolutos e no índice de disposição adequada em 2015, aproximadamente 42,6 milhões de toneladas de RSU, ou 58,7% do coletado, seguiram para aterros sanitários. Por outro lado, registrou-se aumento também no volume de resíduos enviados para destinação inadequada, com quase 30 milhões de toneladas de resíduos dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2015). Destaca-se que as melhorias na destinação final dos RSU estão sobretudo concentradas nas regiões metropolitanas e grandes cidades do país (MANNARINO, 2016).

A realidade das regiões e municípios brasileiros é bastante diferente em relação à capacidade de investimento na gestão de resíduos sólidos (MANNARINO et al., 2016). Especificamente no estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), desde 1976, desenvolve ações referentes a gestão de resíduos, mais



precisamente sobre o controle da destinação dos RSU. E, para um melhor domínio da realidade enfrentada pelos municípios, a partir de 1997, passou a elaborar anualmente o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (IERSU), o qual contém informações sobre a situação dos sistemas de coleta, tratamento e destinação dos RSU de todos os 645 municípios paulistas, classificando-os como adequados ou inadequados.

Segundo os dados da CETESB de 2013, são geradas cerca de 39 mil toneladas diárias de RSU no estado de São Paulo. As condições da disposição final dos resíduos sólidos nos municípios do estado melhoraram de 1997 a 2013, conforme o IERSU, publicado pela CETESB nesse período. Houve também uma evolução dos índices de qualidade dos aterros de resíduos (IQR). No IERSU publicado em 2016, obteve-se como informação que 94% dos aterros em operação nesse ano encontravam-se em condições adequadas e, 273 municípios dispuseram seus resíduos em aterros consorciados (CETESB, 2016), o que implica em um percurso maior para dispor os RSU gerados, contribuindo para uma maior emissão de CO₂ proveniente da queima do diesel, combustível fóssil utilizado nos veículos de transporte de resíduos.

Para Schipper e Marie-Lilliu (1999), o setor de transportes, principalmente o rodoviário, é entre as fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE), a que cresce mais rapidamente, muitas vezes em uma taxa superior que o produto interno bruto dos países em desenvolvimento.

No Brasil, no ano de 2014, o consumo de derivados de petróleo pelo setor de transportes chegou a 80,3% do total (MME, 2015). O Estado de São Paulo enfrenta uma situação particularmente preocupante por deter cerca de 40% da frota automotiva do país. A frota motorizada no estado de São Paulo, em dezembro de 2013, calculada segundo metodologia do inventário estadual explicitada no Relatório de Emissões Veiculares da CETESB, é de aproximadamente 14,8 milhões de veículos, sendo 9,8 milhões de automóveis, 1,9 milhões de comerciais leves, 540 mil ônibus e caminhões e 2,6 milhões de motocicletas. Salienta-se que os veículos de RSU se enquadram na categoria de ônibus e caminhões (CETESB, 2013).

A emissão de gás de efeito estufa para a frota de automóveis, existentes no estado de São Paulo, é de cerca de 16 milhões de toneladas de CO₂ e 14 milhões de toneladas de



CO₂ para a frota de caminhões. Realizando uma análise comparativa é possível concluir que embora a frota de automóveis seja significativamente superior, aproximadamente 95%, em relação a de caminhões, a quantidade de CO₂ emitida por ambos veículos é quase que equivalente. Este fato se dá pelo uso de combustível etanol, nos veículos leves, que por sua vez tem menor intensidade poluidora que o diesel utilizado em veículos pesados. (CETESB, 2013).

Diante das preocupações ambientais frente as mudanças climáticas e impactos na qualidade do ar, derivadas da emissão de GEE o estado de São Paulo aprovou a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC) no ano de 2009, a qual estabelece a redução de 20% nas emissões de GEE até 2020, em relação aos níveis de 2005. Além disso, vale ressaltar que esta é a primeira lei estadual com meta de corte de GEE aprovada no país, destacando o pioneirismo do estado de São Paulo nesta área (SÃO PAULO, 2009).

3.2. Disposição Final dos RSU

O descarte dos RSU nas cidades de todo o mundo sempre representou sério problema à saúde pública e ao meio ambiente. Depósitos em áreas urbanas, durante séculos tratados sem os devidos cuidados, sempre estiveram associados à propagação de doenças, seja diretamente via pessoas e animais coexistindo nestes locais, seja por meio da contaminação dos mananciais de água, dos solos e dos alimentos (JAMES, 1997).

A disposição final é a última fase do gerenciamento de um sistema de limpeza urbana. Geralmente, esta operação é efetuada imediatamente após o transporte. Em alguns casos, entretanto, antes de ser disposto, o RSU é processado, isto é, recebe algum tipo de beneficiamento, visando melhores resultados econômicos, sanitários e ambientais (BRITO, 2006).

Existem no Brasil diferentes formas de disposição final dos RSU, como lixões, aterros controlados e aterros sanitários. A forma mais antiga e mais impactante ao meio ambiente e sociedade como um todo é o lixão. Os aterros controlados também são considerados formas inadequadas de disposição final dos resíduos (ABRELPE, 2011). Por sua vez, o destino final da maior parte dos RSU gerados nos municípios paulistas são os

aterros sanitários, que dentre as três opções supracitadas é a que ocasiona menor impacto (ABRELPE, 2014).

No Brasil, a Lei nº 12.305 de 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público. Na data de publicação da lei, estava previsto a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou ainda outras formas de destinação admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários (BRASIL, 2010a e 2010b).

A disposição de rejeitos em aterros sanitários é a última ação entre todas aquelas previstas e mencionadas à cima, mas não a menos importante, principalmente em cenários que ainda existem locais não apropriados para a disposição dos RSU. Neste contexto, destaca-se o custo de operação de um aterro sanitário que é bastante elevado principalmente para municípios de pequeno porte, ou seja, aqueles com população menor que 100 mil habitantes (SPIGOLON, 2015).

Dos 645 municípios existentes no estado de São Paulo, 570 são classificados como de pequeno porte. Estes geralmente, não possuem capacidade financeira e muitas vezes, nem técnica para inverter por si só à situação e adaptar-se às imposições da PNRS. Assim, o consórcio público surge como um importante instrumento para que municípios possam se associar e, dessa forma, implantar e manter aterros sanitários para o tratamento e disposição final ambientalmente adequada de RSU, cumprindo o estabelecido pelo quadro Legislativo da União - Lei nº 12.305 de 2010 e pelo Estado de São Paulo - Lei nº 12.300 de 2006 (BRASIL, 2010a; SÃO PAULO, 2006).

A gestão compartilhada entre municípios viabiliza o rateio dos custos operacionais e administrativos com ganhos de escala, a contratação de serviços profissionais de operação do aterro, a otimização do uso de máquinas e equipamentos, a redução do número de áreas utilizadas, a redução de possíveis focos de contaminação ambiental e, conseqüentemente, a concentração das ações de fiscalização do órgão ambiental competente (SPIGOLON, 2015).

No entanto, para obter ganhos de escala com o compartilhamento do aterro sanitário, a distância dos centros de produção dos RSU até o aterro sanitário aumenta para alguns dos municípios, dessa forma, os custos com transporte também aumentam. Para que estes custos sejam compensados com os restantes benefícios de compartilhamento do aterro, é imprescindível estudar a localização da infraestrutura a ser compartilhada no âmbito do arranjo logístico entre os municípios (SPIGOLON, 2015).

3.3. Transporte de RSU

O transporte de RSU é definido como a operação de transferir mecanicamente os resíduos de um local para outro, especificamente, do ponto de geração ao destino final. Segundo Lacerda (2003), o espaço urbano, no qual os serviços de transporte são oferecidos, consiste de uma rede com vários elementos, tais como, estradas, ruas, interseções e terminais.

De acordo com a NBR 13463, os veículos de coleta de RSU podem ser divididos em três tipos fundamentais: caçamba simples, coletor compactador e de resíduos de serviços de saúde (ABNT, 1995), e cada tipo é empregado condicionando a fatores como quantidade de resíduos, forma de acondicionamento do resíduo e condições de acesso ao ponto de coleta (VILHENA, 2010).

No Brasil, atualmente, os veículos compactadores de carregamento traseiro, são os mais utilizados, optando-se sempre por veículos de maior capacidade, por serem mais viáveis economicamente (SPIGOLON, 2015).

3.4. Sistema de Informação Geográfica

Segundo Câmara et al. (1996), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas automatizados que auxiliam os usuários em tarefas que envolvem o armazenamento, análise e manipulação de dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la. Problemas complexos de



gerenciamento e de planejamento podem ser solucionados com a utilização desta ferramenta (Federal Interagency Coordinating Committee apud ROHM, 2003).

Maguire et al. (1993) classificam as aplicações de SIG em socioeconômicas, ambientais e gerenciais. Neste estudo, pode-se salientar as gerenciais nas áreas urbanas com as funções de roteirização ou caminho ótimo ou econômico em modelos de dados configurados topologicamente para representar redes de transporte.

Logo, a trabalhabilidade, o conjunto de ferramentas e o ambiente de desenvolvimento, oferecidos por SIG, os tornam particularmente adequados para o tratamento das etapas de coleta e transporte de RSU e, conseqüentemente, eficazes para esta pesquisa.

3.5. Geoprocessamento

Para Fitz (2008), o geoprocessamento é entendido como a técnica que utiliza um SIG na realização de levantamentos, cruzamentos e análises de informações georreferenciadas visando o manejo do espaço físico. Além disso, essa técnica possibilita a junção de informações contidas em um banco de dados e, conseqüentemente, a sua manipulação.

Praticamente todas as áreas de atuação municipal podem encontrar no geoprocessamento um importante aliado nas etapas de levantamento de dados, diagnóstico do problema, tomada de decisão, planejamento, projeto, execução de ações e medição dos resultados (CORDOVEZ, 2002).

No que tange a gestão de RSU, o conceito de geoprocessamento é aplicado em sistemas roteadores e de programação de veículos, utilizados na definição dos itinerários mais adequados para cada área de abrangência de um roteiro de coleta de resíduos (JUNIOR & FILHO, 2010).

3.6. Roteirização

O termo roteirização é utilizado para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos, objetivando visitar



um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados (CUNHA, 2000).

Dentre as várias aplicações da roteirização tem-se o sistema de coleta e transporte dos RSU. Neste caso, a utilização dos percursos espacializados ou mapas digitais devidamente editados em ambiente de SIG, simplificam o processo de tomada de decisão na seleção das melhores alternativas econômicas e logísticas (JUNIOR & FILHO, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

O estado de São Paulo está localizado na região sudeste do Brasil e apresenta uma área territorial de aproximadamente 249 mil km². É composto por 645 municípios, sendo o estado mais populoso do país. Compreende grandes centros tecnológicos e industriais, que em termos econômicos, contribui com cerca de um terço de toda a riqueza produzida no país (IBGE, 2013).

Como a economia e a dimensão populacional estão diretamente relacionadas com a geração de resíduos este estado também apresenta a maior geração de RSU dentre todos os estados brasileiros.

4.2. Recursos Utilizados

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa foram analisados os Inventários Estaduais de Resíduos Sólidos Urbanos (IERSU), divulgados pela CETESB, dos anos de 2012 a 2016. Destes instrumentos, foram extraídas algumas informações a respeito das condições básicas dos aterros sanitários do estado de São Paulo, estas foram organizadas em tabelas no Excel.

Após a criação da base de dados, fazendo uso da plataforma ArcGis 10.5, com as extensões ArcMap e Arctoolbox, pode-se transferir os dados contidos nas tabelas para os arquivos em formato *shapefile*, referentes aos pontos georreferenciados dos aterros sanitários. Foram criados dois tipos de rotas: lineares e por vias de transporte. Para o



primeiro tipo, criou-se uma linha linear interligando os centros urbanos das cidades e os seus respectivos locais de disposição final de RSU. Já a roteirização por vias de transporte, foi realizada utilizando imagens de satélites Landsat para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016 associadas com os dados gratuitos de ruas do *Open Street Maps* obtidos em abril de 2018.

4.3. Base de Dados

Para a criação da base de dados foi realizado o levantamento dos dados presentes nos IERSU, dos anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, divulgado pela CETESB. As informações extraídas sobre as condições básicas dos aterros sanitários paulistas foram: localização geográfica, enquadramento dos aterros quanto ao Índice de Qualidade de Resíduos (IQR), quantidade de RSU dispostos em cada aterro em tonelada por dia, quantidade de RSU gerada individualmente pelos 645 municípios, e quais municípios dispõem os RSU em aterros localizados em outra cidade do estado ou até mesmo fora do estado de São Paulo.

Estes dados foram organizados em tabelas no Excel, o que possibilitou, além de uma análise mais eficiente dos dados envolvidos, a identificação da quantidade de aterros sanitários ativos e de aterros consorciados nos anos de estudo. A Figura 1 ilustra uma das tabelas elaboradas.



Figura 1 - Tabela demonstrativa dos dados dos aterros do estado de São Paulo

1	2	3	ATERRO	RSU												Código Aterro					
				2016		2015		2014		2013		2012		Total (2016 - 2012)	2012		2013	2014	2015	2016	Média
				(t/dia)	(t/ano)	(t/dia)	(t/ano)	(t/dia)	(t/ano)	(t/dia)	(t/ano)	(t/dia)	(t/ano)								
4	ADAMANTINA	26,54	9713,64	26,5	9672,5	26,47	9661,55	26,43	9646,95	12,8	4684,8	43379,44	9	9	8,1	4,6	7,1	7,56	AS001		
5	ADOLFO	2,28	834,48	2,28	832,2	2,29	835,85	2,29	835,85	1,27	464,82	3803,2	8,5	7,5	7,3	7,3	7,7	7,66	AS002		
6	AGUAI	25,4	9296,4	25,16	9183,4	24,92	9095,8	24,67	9004,55	11,82	4326,12	40906,27	7,2	7,4	7,5	7,3	7,3	7,34	AS003		
7	AGUDOS	28,06	10269,96	27,92	10190,8	27,78	10139,7	27,64	10088,6	13,32	4875,12	45564,18	8,7	8,4	7,2	8,4	5,1	7,56	AS004		
8	ALAMBARI	2,98	1090,68	2,93	1069,45	2,87	1047,55	2,82	1029,3	1,53	559,98	4796,96	8,7	8,7	8,7	8,7	8,2	8,60	AS005		
9	ALFREDO MARCONDES	2,41	882,06	2,4	876	2,39	872,35	2,38	868,7	1,31	479,46	3978,57	9,2	9,2	8,7	8,7	9	8,96	AS006		
10	ALTAIR					2,24	817,6	2,22	810,3	1,22	446,52	2074,42	8,7	9,5	8	10	10	9,24	AS007		
11	ALTO ALEGRE	2,3	841,8	2,3	839,5	2,31	843,15	2,31	843,15	1,29	472,14	3839,74	8	9,5	7,3	8,2	9	8,40	AS008		
12	ALUMÍNIO					10,52	3839,8	10,44	3810,6	5,73	2097,18	9747,58	8,5	8,5	7,5	9,5	9,3	8,66	AS009		
13	ÁLVARES FLORENCE	1,82	666,12	1,83	667,95	1,85	675,25	1,86	678,9	1,04	380,64	3068,86	8,2	7,4	7,6	8	8,6	7,96	AS010		
14	ÁLVARES MACHADO	15,6	5709,6	15,55	5675,75	15,49	5653,85	15,44	5635,6	8,52	3118,32	25793,12	8,5	9	7,5	7,5	7,3	7,96	AS011		
15	ÁLVARO DE CARVALHO					2,21	806,65	2,19	799,35	1,2	439,2	2045,2	7,4	8	5,3	8,1	9,6	7,68	AS012		
16	ALVINLÂNDIA	2	732	1,99	726,35	1,98	722,7	1,97	719,05	1,09	398,94	3299,04	7,5	7,5	8,7	8,3	8,5	8,10	AS013		
17	AMÉRICO DE CAMPOS	3,5	1281	3,49	1273,85	3,48	1270,2	3,47	1266,55	1,92	702,72	5794,32	8,3	7,9	8,7	9	7,9	8,36	AS014		
18	ANDRADINA	42,79	15661,14	42,75	15603,75	42,71	15589,15	42,67	15574,55	20,67	7565,22	69993,81	9,5	9,5	9,5	8,7	8,7	9,18	AS015		
19	ANGATUBA	12,27	4490,82	12,15	4434,75	12,03	4390,95	11,9	4343,5	6,51	2382,66	20042,68	9,7	8,5	9,5	7,5	7,3	8,50	AS016		
20	ANHEMBI	3,38	1237,08	3,34	1219,1	3,29	1200,85	3,24	1182,6	1,76	644,16	5483,79	8,2	9,1	9,1	9,5	8,5	8,88	AS017		
21	ANHUMAS	2,31	845,46	2,29	835,85	2,27	828,55	2,26	824,9	1,24	453,84	3788,6	8,5	9,2	8,4	8,4	8,2	8,54	AS018		
22	APARECIDA D'OESTE	2,5	915	2,52	919,8	2,54	927,1	2,56	934,4	1,43	523,98	4219,68	8	7,5	7,5	8,7	8,7	8,08	AS019		
23	APIAI	12,7	4648,2	12,76	4657,4	12,83	4682,95	12,9	4708,5	7,2	2635,2	21332,25	5,6	7,1	7,5	7,1	4,8	6,42	AS020		

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta tabela, encontram-se os aterros sanitários em atividade presentes no estado de São Paulo nos anos de 2012 a 2016, foram constatados 467 aterros nesse período, sendo que alguns estavam ativos em determinados anos e inativos em outros. Para cada um dos aterros foi identificado a quantidade de RSU que foram dispostos em sua extensão, em tonelada/dia e em tonelada/ano, e o valor total de RSU disposto naquele aterro no intervalo de cinco anos, ou seja, de 2012 a 2016. Também foi colocado o valor do IQR referente ao aterro para os anos em que estava em operação, e a média desse valor para o período analisado. Por fim, foi inserida uma coluna designada código aterro que serviu para transferir essas informações da tabela do Excel para a tabela de atributos dos aterros no ArcGis.

4.4. Processamento Digital

Para o processamento digital utilizou-se a plataforma ArcGis 10.5, com as extensões ArcMap e ArcToolbox. Os dados contidos nas tabelas do Excel foram transferidos para os arquivos em formato *shapefile*, referentes aos aterros sanitários em atividade no Estado de São Paulo nos anos de estudo.

Os *shapes* dos aterros, pontos georreferenciados, foram elaborados com auxílio das informações disponíveis nas planilhas do IQR, contidas no Mapa de Destinação de



Resíduos Urbanos, divulgado pela CETESB, principalmente a de localização (latitude e longitude). Os aterros que não possuíam tais informações em suas planilhas, foram identificados visualmente por imagens de satélites Landsat.

Seguindo a mesma lógica, fazendo uso do *shapefile* da cobertura urbanizada do estado de São Paulo, e com auxílio de imagens de satélite foi possível a identificação dos pontos referentes aos centros urbanos dos municípios. O sistema de coordenadas adotado para estes mapeamentos foi o SIRGAS 2000 (Zona UTM 22 E 23 S).

4.5. Obtenção das Rotas

As rotas criadas são representadas por uma “linha” interligando os pontos georreferenciados definidos como centro dos municípios e o local de disposição final dos RSU, as rotas bem como os pontos estavam em formato *shapefile* e, possuíam o mesmo sistema de coordenadas já mencionado. Foram elaborados dois tipos de rotas: lineares e por vias de transporte.

Para a confecção das rotas lineares, criou-se apenas uma linha reta interligando os centros urbanos das cidades e os seus respectivos locais de disposição final de RSU. Há uma diferenciação em relação a quantidade de rotas criadas para cada um dos anos. A Tabela 1 exhibe o número de rotas correspondentes ao seu respectivo ano, qual(is) municípios dispuseram seus RSU fora do estado de São Paulo e quais dispuseram em dois aterros diferentes dentro do estado.



Tabela 1 - Número de rotas elaboradas nos anos de estudo

Ano	Nº de Rotas	Municípios que dispõem RSU fora do Estado	Municípios que dispõem os RSU em dois Aterros distintos
2012	646	Bananal	São Paulo, Santo André
2013	644	Bananal, Igarapava, Ituverava	São Paulo, Santo André
2014	645	Arapeí, Banal, Igarapava	São Paulo, Santo André, Marília
2015	646	Arapeí, Banal, Igarapava, Ituverava	Arujá, São Paulo, Suzano, Marília, Piracicaba
2016	644	Arapeí, Bananal, Igarapava, Ituverava, São José do Barreiro, Ribeira	Arujá, São Paulo, Suzano, Marília, Piracicaba

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Tabela 1, para o ano de 2012, ao todo, foram criadas 646 rotas, desconsiderando o município de Bananal, que dispôs seus RSU fora do estado de São Paulo e não entrou nessa análise. Além disso, dois municípios, São Paulo e Santo André, dispuseram seus RSU simultaneamente em dois aterros diferentes dentro do estado, ou seja, possuíam mais de uma rota para a disposição final de seus resíduos.

No ano de 2013, 644 rotas foram elaboradas, considerando que os municípios de Bananal, Igarapava e Ituverava não dispuseram seus RSU no estado de São Paulo e que os municípios de São Paulo e Santo André dispuseram seus resíduos em dois aterros diferentes dentro do estado, possuindo, assim, duas rotas diferentes para a disposição.

Em 2014, três municípios dispuseram os RSU fora do estado, sendo eles Arapeí, Bananal e Igarapava, e outros três, São Paulo, Santo André e Marília, dispuseram seus RSU em dois aterros distintos dentro do território paulista, totalizando, assim, 645 rotas.

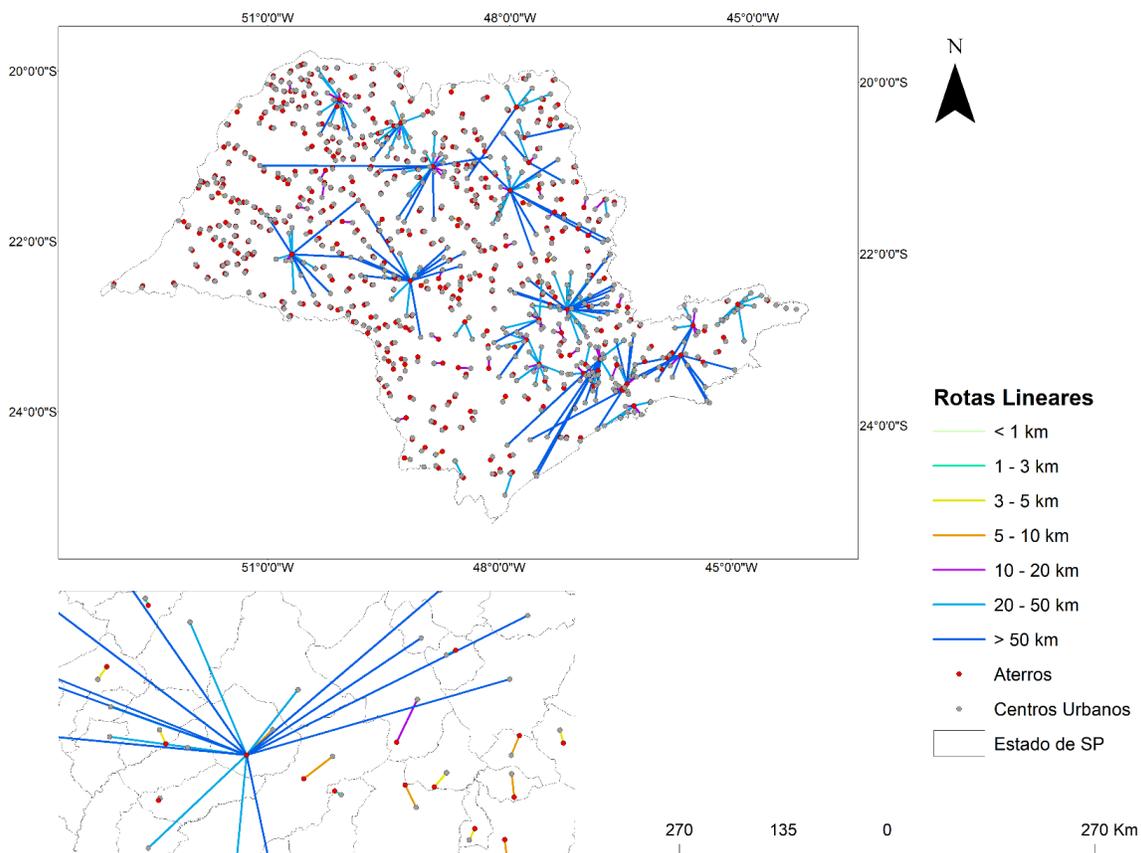
No ano de 2015, Arapeí, Bananal, Igarapava e Ituverava dispuseram os RSU gerados em municípios situados fora do estado de São Paulo, ao passo que, Arujá, São Paulo, Suzano, Marília e Piracicaba dispuseram em dois aterros dentro do estado. Para este ano 646 rotas foram criadas.

O ano de 2016 abrange o maior número de municípios que dispuseram seu RSU fora do estado, sendo eles, Arapeí, Bananal, Igarapava, Ituverava, São José do Barreiro e

Ribeira, por sua vez, os municípios de Arujá, São Paulo, Suzano, Marília e Piracicaba, os mesmo que no ano de 2015, possuíam mais de uma rota para disporem seus resíduos.

A Figura 2, ilustra as rotas lineares elaboradas para o ano de 2016 e a classe de distância percorrida correspondente. Ainda, foi dado um zoom no município de Piratininga, o qual possui em seu território um aterro sanitário consorciado que recebeu RSU de 18 municípios, inclusive o de Piratininga.

Figura 2 – Exemplo das rotas lineares elaboradas para o ano de 2016



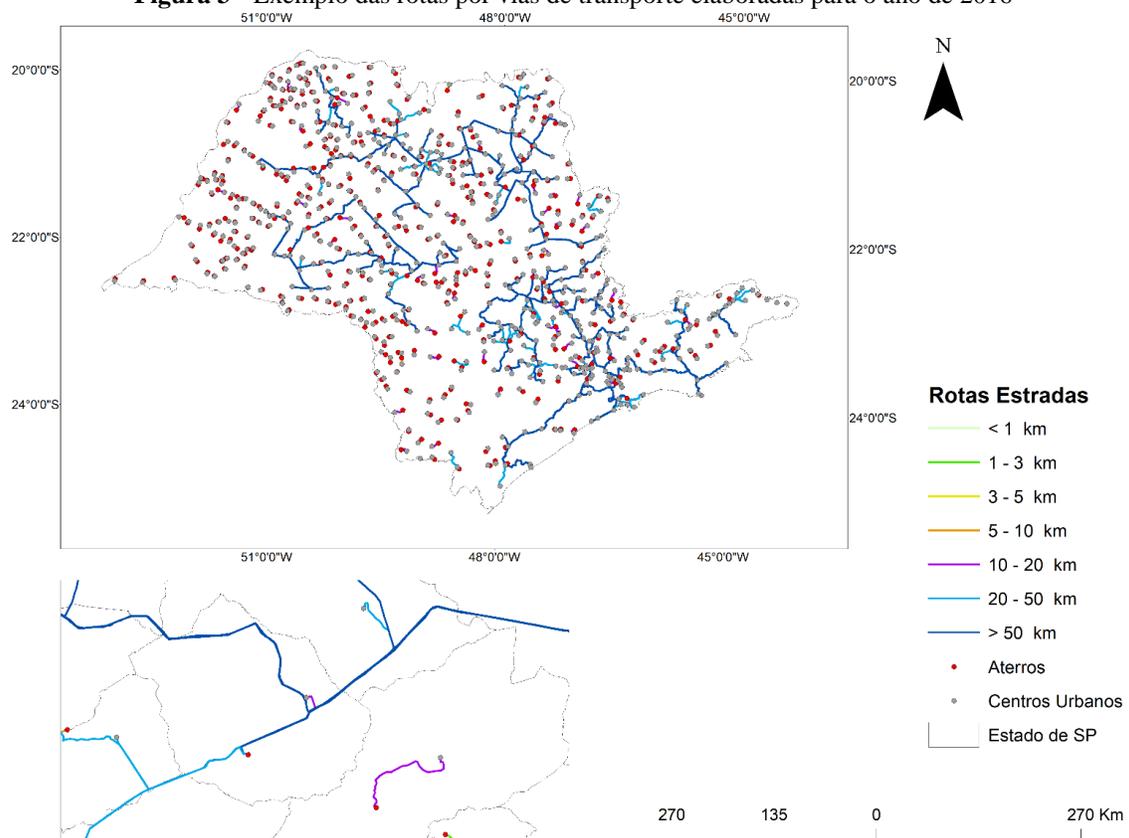
Fonte: Elaborado pela autora.

O mesmo procedimento utilizado para elaborar as rotas lineares foi adotado para elaboração das rotas por vias de transporte. Porém, ao invés de gerar uma linha reta entre os municípios e os aterros, seguiu-se o percurso das estradas para a criação das linhas. Tal roteirização foi realizada utilizando imagens de satélites Landsat para os anos de estudo

associada com os dados gratuitos de ruas do *Open Street Maps*. Estas bases de dados serviram como base para a obtenção das vias utilizadas no itinerário dos veículos de transporte de RSU, o critério para escolha de tais vias e confecção das rotas, foi o porte destas, optando sempre por rodovias e estradas de grande porte e de preferência pavimentadas.

As rotas por vias de transporte para o ano de 2016 podem ser visualizadas na Figura 3. Novamente, foi dado um zoom no município de Piratininga.

Figura 3 - Exemplo das rotas por vias de transporte elaboradas para o ano de 2016



Fonte: Elaborado pela autora.

Esses dois tipos de rotas foram criados para fins de comparação das distâncias percorridas pelos veículos de RSU, em cada um dos casos como foi demonstrado nos resultados aqui apresentados.



Em seguida, os dados da quantidade de RSU (ton./ano) geradas por cada município, obtidos por meio do IERSU, foi agrupado aos arquivos vetoriais em formato *shapefile*, e com isso, foi possível estimar e calcular o número de viagens realizadas pelos veículos coletores de resíduos.

Neste estudo, o valor da capacidade do peso de carga dos caminhões de transporte de RSU adotado foi de 12 toneladas, visto que há uma grande variedade de tipos de veículos de transporte de RSU com distintas capacidade de carregamento. Este valor adotado é apontado no Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM (ZULAR et al., 2001), e representa uma estimativa, visto que é inviável a identificação dos veículos empregados em cada um dos 645 municípios envolvidos no estudo e suas respectivas capacidades de carga. Contudo, o valor utilizado para fins de cálculos foi de 80% do peso estipulado, totalizando 9,6 toneladas, uma vez que não é sempre que o caminhão acaba sendo carregado com o seu volume máximo permitido. Além disso, em dias chuvosos, por exemplo, o peso dos RSU aumentam cerca de 20%, dessa forma, a capacidade de peso máximo de carga é atingida antes de completar o volume máximo de carregamento do veículo (ZULAR et al., 2001). Ainda, vale ressaltar que os valores calculados, referentes ao número de viagens, foram arredondados para cima, quando possuíam casas decimais diferentes de zero.

Por fim, distâncias referentes as rotas lineares e por vias de transporte foram calculadas por intermédio da ferramenta *Calculate Geometry* do ArcGis. A partir disso, obteve-se o valor correspondente a distância total percorrida pelos veículos de resíduos, nos cinco anos em análise.

4.6. Determinação Econômica

Com base nas distâncias percorridas, foi possível estimar os gastos inerentes aos veículos de transporte de RSU, movidos a diesel. De acordo com a Série Histórica do Levantamento de Preços e de Margens de Comercialização de Combustíveis, publicada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o preço do óleo diesel sofreu alterações nos anos de estudo, como pode ser visto na Tabela 2 (ANP, 2016).



Tabela 2 - Preço do óleo diesel para os anos de 2012 a 2016

Óleo Diesel	
Ano	Preço Médio (R\$/l)
2012	1,989
2013	2,327
2014	2,435
2015	2,714
2016	2,922

Fonte: ANP, 2016.

Considerando que em média um caminhão de transporte de resíduos sólidos urbanos faz de 3 a 4 km/litro (PASCOAL et al., 2010), foi possível calcular a quantidade de litros de diesel necessários para transportar os resíduos, da seguinte forma:

$$\text{Litros} = \frac{\text{Distância Percorrida}}{\text{Consumo Médio}}$$

Onde, a Distância Percorrida é o percurso realizado pelos veículos (km). E o Consumo Médio é a média aritmética entre 3 e 4 (km/l).

Após calcular a quantidade de litros, pode-se estimar o custo associado a disposição final dos RSU. Por meio da expressão:

$$\text{Preço do Diesel} \times \text{Litros}$$

Estes cálculos foram feitos para todas as rotas elaboradas por vias de transporte e para todos os anos de análise deste estudo.

4.7. Determinação da Emissão

A partir das distâncias percorridas pelos veículos de RSU, pôde-se determinar a quantidade de dióxido de carbono emitida em tonelada/ano. Esta determinação foi feita por

meio da calculadora de carbono do Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (SECIMA) do estado de Goiás.

Para este estudo, foi selecionada como fonte abastecedora o diesel, em sequência, a quilometragem mensal realizada pelo transporte foi inserida na calculadora. A escolha desta calculadora consistiu em uma maior perspectiva do cenário com poucas margens de erros. Além disso, após o cálculo da estimativa de CO₂ emitido, é fornecido em unidades/ano, o número de árvores que devem ser plantadas para compensar a emissão calculada, o que é uma forma lúdica de tentar compensar o impacto causado pelas emissões.

5. RESULTADOS E CONCLUSÃO

5.1. Distâncias Centros Urbanos e Aterros

Por meio da criação das rotas foi possível estimar primeiramente apenas as distâncias entre os centros urbanos dos municípios até os locais de disposição final dos RSU, para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Os resultados totais aproximados para as rotas lineares e por vias de transporte estão exibidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Distâncias totais percorridas pelos veículos de transporte

Distância Percorrida Total		
Ano	Rotas Lineares	Rotas por Vias de Transporte
2012	9.420	14.681
2013	9.606	15.058
2014	10.757	16.765
2015	10.964	17.315
2016	11.281	17.641

Fonte: Elaborada pela autora.

Percebe-se que as distâncias percorridas aumentaram com o passar dos anos, este fato implica que os aterros sanitários estão ficando cada vez mais distantes. A primeira razão é explicada pela expressão “NIMBY” (*Not in my back Yard*), na qual o indivíduo não deseja que exista um aterro sanitário próximo de sua residência, principalmente por causa

dos efeitos negativos da instalação de um aterro como por exemplo, impacto visual, poluição olfativa, proliferação de vetores e presença de microrganismos patogênicos, liberação de gases tóxicos, asfixiantes e explosivos que se acumulam no subsolo ou são lançados na atmosfera e, ainda, há a questão da contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, as quais não se restringem apenas a área de disposição final dos resíduos mas estendem-se além desta, afetando toda a população inserida nesse meio (DEAR, 2007). A segunda razão do aumento das distâncias percorridos no transporte dos RSU com o passar dos anos é que a valorização do metro quadrado aumenta o custo dos terrenos próximos à região central das cidades, dessa forma, os resíduos não reaproveitados são transportados para aterramento em locais cada vez mais longes (DIAS, 2012). Ademais, o aumento no número de municípios que dispõe seus resíduos em aterros consorciados também contribui com distâncias de percurso cada vez maiores.

A Tabela 4 foi criada com intuito de exibir o número de aterros sanitários ativos em cada ano, e por sua vez o número de aterros consorciados e próprios, ou seja, aqueles instalados no próprio município onde o RSU é gerado.

Tabela 4 - Número de Aterros nos anos de 2012 a 2016

	Aterros Próprios	Aterros Consorciados	Nº Total de Aterros
2012	422	32	454
2013	408	33	441
2014	385	35	420
2015	370	36	406
2016	366	35	401

Fonte: Elaborado pela autora.

Observando a Tabela 4, percebe-se primeiramente que o número de aterros totais está diminuindo gradativamente com o passar dos anos, e a quantidade de aterros consorciados está se elevando mesmo que aos poucos ao mesmo tempo que o número de aterros próprios está diminuindo. Isso está ocorrendo em virtude da PNRS, que incentiva a formação de consórcios para o gerenciamento dos RSU.

Com intuito de organizar e melhor apresentar as informações a respeito do valor das distâncias lineares entre os centros urbanos e os aterros sanitários, ordenou-se os municípios de acordo com as seguintes classes de distâncias apresentadas nas Tabela 5 a 9, para os anos de 2012 a 2016, respectivamente.

A Tabela 5, mostra o número de municípios ordenados de acordo com a classe das distâncias lineares para o ano de 2012.

Tabela 5 – Distâncias das rotas lineares para o ano de 2012

Classe de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	21	15,7
1 - 3 km	173	363,29
3 - 5 km	136	529,11
5 - 10 km	116	789,99
10 - 20 km	67	915,42
20 - 50 km	81	2.708,67
> 50 km	52	4.098,01

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando a Tabela 5, pode-se observar que existe um maior número de municípios, 27% do total deles que a distância do centro urbano até o aterro se encontra na classe de 1 a 3 km. Este intervalo de distância pode ser considerado relativamente curto e representa uma vantagem econômica e também ambiental associada a redução de custo, tempo e impacto gerado pelo tráfego destes veículos. Por outro lado, 52 municípios se localizam a distâncias maiores que 50 km, que se somadas totalizam um valor de aproximadamente 4.100 km, vale ressaltar que este valor leva em consideração apenas o trajeto de ida do centro do município até o aterro.

A Tabela 6, mostra o número de municípios ordenados de acordo com a classe das distâncias lineares para o ano de 2013.



Tabela 6 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2013

Classe de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	18	13,12
1 - 3 km	168	356,05
3 - 5 km	130	503,22
5 - 10 km	118	805,35
10 - 20 km	74	1.032,29
20 - 50 km	83	2.818,70
> 50 km	53	4.077,69

Fonte: Elabora pela autora.

Por meio da Tabela 6, conclui-se que, assim como os dados do ano de 2012, existe um maior número de municípios, especificamente 26% do total dos municípios, em que a distância do centro urbano até o aterro se encontra na classe de 1 a 3 km. E, houve acréscimo de apenas um município, em comparação com o ano de 2012, na classe de distâncias maiores que 50 km ainda que o valor da distância total tenha diminuído um pouco.

As Tabela 7, 8 e 9 se referem-se aos dados de distâncias das rotas lineares dos anos de 2014, 2015 e 2016, respectivamente.

Tabela 7 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2014

Classe de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	13	9,17
1 - 3 km	161	342,89
3 - 5 km	125	483,57
5 - 10 km	113	768,94
10 - 20 km	77	1.072,67
20 - 50 km	94	3.250,7
> 50 km	62	4.829,17

Fonte: Elabora pela autora.



Tabela 8 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2015

Classe de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	16	11,05
1 - 3 km	152	326,09
3 - 5 km	121	467,79
5 - 10 km	111	752,03
10 - 20 km	79	1.104,88
20 - 50 km	105	3.585,18
> 50 km	62	4.717,02

Fonte: Elabora pela autora.

Tabela 9 - Distâncias das rotas lineares para o ano de 2016

Classe de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	15	9,81
1 - 3 km	152	322,89
3 - 5 km	126	488,87
5 - 10 km	105	707,42
10 - 20 km	76	1.045,26
20 - 50 km	103	3.416,69
> 50 km	67	5.289,84

Fonte: Elabora pela autora.

Observando as Tabelas das distancias das rotas lineares, verifica-se que existe um padrão para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, no que tange a classe de distâncias percorridas que possuem mais municípios. Durante estes cinco anos, a classe de distância de 1 a 3 km foi a que apresentou o maior número de municípios, em média cerca de 162 municípios.

Ainda, pode-se salientar que aumentou, ano após ano, a quantidade de municípios que apresentou a classe de distância maior que 50 km. Apenas nos anos de 2014 e 2015 este número estagnou, abrangendo 62 municípios, mas, voltou a subir em 2016, alcançando 67 municípios. Um fato relevante, é que todos os municípios presentes nesta classe dispuseram seus resíduos em aterros consorciados, que por sua vez se localizam mais distantes dos centros urbanos.



Para fins de comparação, os mesmos resultados foram gerados para as rotas calculadas por vias de transporte. Na Tabela 10 a 14, são apresentados os números de municípios classificados de acordo com a classe de distâncias por vias de transporte para os anos de 2012 a 2016, respectivamente.

Tabela 10 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2012

Classes de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	11	9,2
1 - 3 km	119	256,24
3 - 5 km	134	525,33
5 - 10 km	136	944,16
10 - 20 km	78	1.075,42
20 - 50 km	74	2.527,02
> 50 km	94	9.343,56

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 11 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2013

Classes de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	11	9,2
1 - 3 km	111	241,79
3 - 5 km	134	526,38
5 - 10 km	131	915,39
10 - 20 km	79	1.093,04
20 - 50 km	82	2.779,17
> 50 km	96	9.492,93

Fonte: Elaborada pela autora.



Tabela 12 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2014

Classes de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	7	5,7
1 - 3 km	102	224,28
3 - 5 km	132	517,74
5 - 10 km	124	863,69
10 - 20 km	82	1.146,92
20 - 50 km	84	2.833,63
> 50 km	114	11.172,63

Fonte: Elabora pela autora.

Tabela 13 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2015

Classes de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	9	7,02
1 - 3 km	96	212,35
3 - 5 km	127	497,04
5 - 10 km	123	856,01
10 - 20 km	79	1.101,13
20 - 50 km	92	3.102,57
> 50 km	120	11.538,76

Fonte: Elabora pela autora.

Tabela 14 - Distâncias das rotas por vias de transporte para o ano de 2016

Classes de Distância	Nº de Municípios	Distância Total
< 1 km	9	7,02
1 - 3 km	96	211,88
3 - 5 km	127	498,12
5 - 10 km	123	851,94
10 - 20 km	74	1.029,49
20 - 50 km	96	3.250,52
> 50 km	119	11.792,07

Fonte: Elabora pela autora.

Observando as Tabelas 10 a 14, é possível fazer algumas inferências, o intervalo de 1 a 3 km, que para as rotas lineares contemplava o maior número de municípios, nas rotas por vias de transporte passou a ser o de 3 a 5 km, para todos os anos de estudo, o que era de



se esperar, uma vez que as estradas normalmente possuem algumas curvas o que aumenta a distância calculada pelas vias de transporte em comparação do que com as rotas lineares. Houve uma exceção do maior número de municípios de acordo com as classes de distâncias para as rotas por vias no ano de 2012, que abrange mais municípios no intervalo de 5 a 10 km. Para a classe das distâncias maiores que 50 km, nas rotas lineares esse intervalo reunia em média 60 municípios, no entanto, para as atuais rotas por vias, existe em média para os cinco anos de estudo, 109 municípios agrupados nesta classe. Essa discrepância no número de municípios se deve ao fato de que no momento de criação das rotas por vias optou-se sempre por rodovias de grande porte e de preferência pavimentadas, assim, as distâncias percorridas por muitos municípios aumentaram bastante quando comparadas com as distâncias lineares, uma vez que esta última corresponde a menor distância existente entre o ponto georreferenciado do centro urbano do município até o aterro sanitário.

5.2. Estimativa dos Gastos para Disposição Final de RSU

Para estimar os gastos envolvidos na disposição final dos RSU, foi necessário obter a distância percorrida pelos veículos transportadores de resíduos, dos centros urbanos até os aterros, para isso, considerou-se nos cálculos o valor referente ao percurso de ida e volta, das rotas por vias de transporte, pois são as que mais se aproximam da realidade. O cálculo foi feito multiplicando as distâncias de ida e volta pelas rotas por vias pelo número de viagens necessário para que todo o RSU gerado no município fosse carregado do centro do município até o local de disposição final.

A Tabela 15, apresenta o custo gerado para dispor os RSU de sete municípios escolhidos como exemplos, para o ano de 2012. Para os outros 645 municípios e para cada um dos anos de estudo seguiu-se o mesmo raciocínio.



Tabela 15 - Custo estimado gerado pelo transporte de RSU em 2012

Município	Qtd. de RSU (ton./ano)	Percurso de Ida e Volta (km)	Nº de Viagens necessários	Total de km Percorridos (ano)	Litros Consumidos (ano)	Custo Gerado (ano)
Anhembi	644,16	1,23	68	82,76	23,65	47,03
Américo de Campos	702,72	3,45	74	251,64	71,90	143,00
Aguai	4.326,12	6,37	451	2.871,02	820,29	1.631,56
Alumínio	2.097,18	12,10	219	2.643,14	755,18	1.502,06
Avaré	11.759,58	25,18	1.225	30843,17	8.812,34	17.527,74
Angatuba	2.382,66	48,88	249	12.131,91	3.466,26	6.894,39
Araras	20.960,82	172,73	2184	37.7150,64	107.757,30	214.4329,32

Fonte: Elaborada pela autora.

Dessa forma, as estimativas dos gastos anuais inerentes ao transporte dos RSU, foram de aproximadamente 33,5 milhões de reais para o ano de 2012; 58,9 milhões de reais para 2013; 63,7 milhões de reais para 2014; 69,9 milhões de reais para 2015; e por fim, em 2016 o gasto foi de 72,8 milhões de reais. E a somatória, para os cinco anos é de 299 milhões de reais. O aumento progressivo no valor dos gastos se deu, sobretudo, pelo acréscimo no preço do óleo diesel no decorrer dos anos e no aumento das distâncias percorridas pelos veículos de RSU para dispor os resíduos gerados.

5.3. Estimativa da Emissão de CO₂ para a Disposição Final de RSU

O Brasil emitiu, em 2005, cerca de 2 milhões de GgCO₂eq, neste mesmo ano no estado de São Paulo foram emitidos 139 mil GgCO₂eq. Comparando as emissões de GEE e o PIB do estado de São Paulo e do Brasil, conclui-se que a economia do estado, responsável por 33% do PIB nacional, emite 6,5% do total de GEE do país. Em outras palavras, para cada mil reais produzidos no país, é emitido 0,72 tCO₂eq, enquanto no estado de São Paulo, a mesma produção corresponde a 0,14 tCO₂eq, o que equivale a 20% do indicador nacional (CETESB, 2011).

As emissões de CO₂ oriundas da queima de combustíveis fósseis no estado de São Paulo no ano de 2008 foram estimadas em 79.690 GgCO₂. Essas emissões cresceram cerca de 47% no período de 1990 a 2008, ou seja, um aumento médio anual de quase 2,15%. O combustível que teve a maior participação nas emissões de CO₂ foi o óleo diesel, correspondendo a 33% em 2005, e apresentando um aumento de 54% ao longo do período



de 1990 a 2005. O setor que mais contribuíram para este aumento das emissões, foi o de transportes, 56% no ano de 2005, sendo que o segmento rodoviário foi responsável por 81% das emissões totais do transporte (CETESB, 2011).

O dióxido de carbono emitido no setor de transporte propicia a poluição atmosférica, contribuindo para o aquecimento global, chuva ácida, e comprometimento da qualidade do ar local, o qual pode provocar efeitos adversos para a saúde humana principalmente doenças respiratórias e cardiovasculares (ROSEIRO, 2013).

A estimativa de emissão de CO₂, proveniente do tráfego dos veículos de RSU, nos cinco anos em análise, e a quantidade de árvores que devem ser plantadas para a correspondente emissão causada por este transporte, visando a compensação ambiental, podem ser visualizadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Emissão de CO₂ dos anos de 2012 a 2016

Ano	CO₂ emitido (ton/ano)	Árvores Plantadas (unid./ano)
2012	19.328,47	121.769,36
2013	28.974,10	182.536,83
2014	29.965,32	188.781,52
2015	29.509,03	185.906,89
2016	28.542,88	179.820,14

Fonte: Elaborada pela autora.

A diminuição nas emissões nos anos de 2015 e 2016 estão diretamente relacionadas com o decréscimo das somatórias das distâncias percorridas, que considerou o percurso de ida e volta e o número de viagens, para estes anos, em comparação aos demais que este valor tinha aumentado progressivamente de 2012 a 2014. Tal diminuição está atrelada ao fato de que quatro municípios para o ano de 2015 e seis para o ano de 2016, dispuseram seus resíduos sólidos fora do estado de São Paulo, por conta disso o percurso de transporte para a disposição final dos RSU destes municípios não entraram neste cálculo de emissões.



5.4. Considerações Finais

Difícilmente a produção de RSU será eliminada, pois esses são gerados pela maioria das atividades da vida cotidiana, como por exemplo atividades domésticas e varrição de vias públicas. Porém, a busca pela minimização é de suma importância. O cenário brasileiro confronta esta realidade pois, ano após ano, a geração de resíduos sólidos urbanos vem aumentando acentuadamente. Contudo, há anos atípicos como o de 2016, em que houve uma queda de 2% na geração de RSU em relação à 2015, devido à crise econômica e política que o país vem vivenciado.

Quanto maior o volume de resíduos gerados melhor deve ser sua gestão. Pois este fato implica no esgotamento dos aterros sanitários existentes dentro dos municípios e/ou nas proximidades e no aumento no número de viagens que os veículos transportadores de RSU precisam realizar para dispor os resíduos, o que contribui para a intensificação na emissão de CO₂ em decorrência das maiores distâncias percorridas por ambos os casos.

Para quantificar as distâncias percorridas para dispor os resíduos dos 645 municípios do estado de São Paulo, para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, se fez uso de técnicas de geoprocessamento através de um SIG. A metodologia utilizada se mostrou bastante eficiente para alcançar os objetivos propostos no presente estudo e pode ser utilizada para monitoramento dos órgãos ambientais ou até mesmo para o capital privado que deseje investir no setor de resíduos.

A somatória dos resultados obtidos, pelas rotas por vias de transporte considerando o percurso de ida e volta e o número de viagens necessários para dispor todo o RSU gerado no estado de São Paulo, demonstra que para os cinco anos de estudo de 2012 a 2016 foram percorridos, pelos veículos de RSU aproximadamente 417 milhões de quilômetros. Como comparação, este valor estimado percorrido seria suficiente para dar mais de 10.403 voltas no planeta Terra pela linha do Equador que é o percurso mais distante para dar a volta no globo terrestre.

Estes 417 milhões de quilômetros de distâncias percorridos além de ocasionar um significativo custo econômico contribui para também para o impacto ambiental. De acordo com a somatória da estimativa de emissão cerca de 136 mil toneladas de CO₂ foram



emitidas no período de cinco anos e seriam necessários plantar 859 mil árvores para compensar estas emissões.

Contudo, mediante aos dados apresentados e embora as mudanças culturais se mostrarem lentas estes não devem servir de desestímulo às ações como campanhas educativas apoiadas por legislações e à implementação de instrumentos econômicos, que possam atuar sobre a consciência ambiental da população, resultando em consumo consciente e minimização da geração de resíduos urbanos. Por este motivo, pretende-se publicar os resultados deste relatório na forma de artigos científicos e também apresentá-los em eventos e congressos, com o intuito de informar para a comunidade uma informação que até agora é inédita.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 13463: Coleta de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, p. 5–7. 1995. Disponível em: <<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-13463-Coleta-de-res%C3%ADuos-s%C3%B3lidos.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010**. 2011. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 01 de junho de 2015.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 30 de maio de 2018.

ANP. **Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis**. 02 de set. de 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>>. Acesso 10 de junho de 2018.



BESEN, G. R; GÜNTHER, W. M. R.; RODRIGUEZ, A. C.; BRASIL, A. L. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA P. et al. **Meio Ambiente e Saúde: o desafio das metrópoles**, Editora Ex Libris, 200 p. São Paulo, 2010.

BONJARDIM, Estela Cristina; PEREIRA, Raquel da Silva; GUARDABASSIO, Eliana Vileide. Análise da produção científica nacional sobre gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil: Um estudo a partir da Lei 12.305/2010. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 23 dez. 2010, Edição Extra. b

BRASIL. **Lei no 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010, p. 1.

BRASIL. **LEI Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 08 de janeiro de 2007.

BRASIL, **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União. Brasília, 3 ago.2010. a

BRITO, Rodrigo Augusto Ferreira de. Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos. 2006.

CÂMARA, Gilberto. Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos. **São José dos Campos**, v. 264, 1995.

CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**, 2013.

CETESB. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**, 2016.

CETESB. **Relatórios de Emissões Veiculares no Estado São Paulo**, 2013.

CETESB. **1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**: Comunicação Estadual. São Paulo: CETESB, 2011.

CHANG, Ni-Bin; LU, H. Y.; WEI, Y. L. GIS technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. **Journal of environmental engineering**, v. 123, n. 9, p. 901-910, 1997.

CORDOVEZ, Juan Carlos Gortaire. Geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana. **Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, v. 1, 2002.



CUNHA, M. C. Caracterização das estradas rurais não pavimentadas como elementos presentes na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapava-PR. **Revista GEOMAE**, Campo Mourão, v.1, n.2, p. 73-91, ago. 2010.

DEAR, M. Understanding and Overcoming the NIMBY Syndrome. **Journal of the American Planning Association**, v. 58, n. 3, p. 288–300, 2007.

DIAS, Sylmara Gonçalves. O desafio da gestão de resíduos sólidos urbanos. **GV-executivo**, v. 11, n. 1, p. 16-20, 2012.

DE SOUSA, Machado; ORSINI, Cláudia. Política Nacional dos Resíduos Sólidos: uma busca pela a redução dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). **InterfaceEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 7, n. 3, 2013.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 143p.

GALLARDO, A. et al. Methodology to design a municipal solid waste pre-collection system. A case study. **Waste management**, v. 36, p. 1-11, 2015.

GONZÁLEZ, Gustavo Andrés Araque; LEAL, José Eugenio. Planejamento das Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais por meio de um Sistema de Informações Geográficas para Transporte: Aplicação do Algoritmo do Problema de Roteirização dos Veículos com Janela de Tempo. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 484-494, 2016.

HENRY, Rotich K.; YONGSHENG, Zhao; JUN, Dong. Municipal solid waste management challenges in developing countries–Kenyan case study. **Waste management**, v. 26, n. 1, p. 92-100, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05001121?via%3Dihub>>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

IBGE. **Contas Regionais: de 2010 a 2013, PIB do Mato Grosso acumula a maior alta (21,9%) entre todos os estados. 19 de nov. de 2015**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=1&idnoticia=3038&t=contas-regionais-2010-2013-pib-mato-grosso-acumula-maior-alta-21-9&view=noticia>>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. IBGE, Rio de Janeiro, 2010. 219 p.

JAMES, Bárbara. **Lixo e Reciclagem**. São Paulo, Scipione, 1997. 43 p.

JUNIOR, A. P.; FILHO, P. C. O. Análise das rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com o uso de geoprocessamento. **Revista Acadêmica Agrária Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 131-144, 2010.



LACERDA, M. G. Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte. Dissertação (Mestrado) UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 147 p., 2003.

MAGUIRE, D., et al., Geographical Information Systems, 2v, John Wiley and Sons, 2. ed., 1993.

MALAKAHMAD, Amirhossein et al. Solid waste collection routes optimization via GIS techniques in Ipoh city, Malaysia. **Procedia Engineering**, v. 77, p. 20-27, 2014.

MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto; GANDOLLA, Mauro. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 379-385, 2016.

MOUSTAFA, A. et al. Waste collection vehicle routing problem: case study in Alexandria, Egypt. In: **The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 935-944.

MME. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2014**. Ministério das Minas e Energia, Brasília, DF, 2015.

PASCOAL, J.A.; OLIVEIRA, P.C.F. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento, **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambiente**. Curitiba, v. 8, n. 2, p. 131-144, abr./jun, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/letic/Downloads/academica-4276.pdf>. Acesso: 10 de julho de 2017.

REZENDE, Jozrael Henriques et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000100001>. Acesso em: 10, maio 2018.

ROHM, S. A. Apostila O QUE É SIG. 1 ed. São Carlos. UFSCAR. 2003.27p.

ROSEIRO, Maria Nazareth Vianna. Poluentes atmosféricos: algumas consequências respiratórias na saúde humana. **Ribeirão Preto: Universidade de Ribeirão Preto**, 2003.

SAIKIA, D.; NATH, M. J. Integrated solid waste management model for developing country with special reference to Tezpur municipal area, India. **International Journal of Innovative Research & Development**, v. 4, n. 2, p. 241-249, 2015.

SÃO PAULO. **LEI Nº 13.798, de 9 de novembro de 2009**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 10 de novembro de 2009, v.119.



SÃO PAULO. **LEI Nº 12.300, de 16 de março de 2006**. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 16 de março de 2006.

SCHIPPER, Lee J.; MARIE-LILLIU, Celine. Carbon-Dioxide Emissions from Transport in IEA Countries: Recent lessons and long-term challenges. **KFB meddelande**, n. 1999: 11, 1999.

SPIGOLON, Luciana Maria Gasparelo. **A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-02032016.../SPIGOLONLMG.pdf> Acesso: 08 de junho de 2018.

TAVARES, Gilberto et al. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. **Waste Management**, v. 29, n. 3, p. 1176-1185, 2009.

TCHOBANOBLOUS, G.; THEISEN, H.; VIRGIL, S. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. McGraw-Hill, Inc., International Edition., 993. 978 p. 1 ISBN 0-07-063237-5.

VILHANA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. (Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE)). 3. Ed. São Paulo, 2010.

ZULAR, V. Z. et al. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos - IBAM**, 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.