UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

LUCIANA MARIA GASPARELO SPIGOLON

**A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do
SIG e análise de decisão multicritério para a localização de
aterros sanitários**

São Carlos
2015

LUCIANA MARIA GASPARELO SPIGOLON

**A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do
SIG e análise de decisão multicritério para a localização de
aterros sanitários**

Tese de Doutorado submetida à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de *Doutor em Ciências*, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientadora: Prof^a. Doutora Ana Paula Camargo Larocca

Coorientador: Prof. Doutor Mário Augusto Tavares Russo

São Carlos
2015

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

S754a 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 / Luciana Maria
Gasparelo Spigolon; orientadora Ana Paula Camargo
Larocca; coorientador Mario Augusto Tavares Russo. São
Carlos, 2015.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2015.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Tecnóloga **LUCIANA MARIA GASPARELO SPIGOLON.**

Título da tese: "A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários"

Data da defesa: 14/12/2015

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. **Ana Paula Camargo Larocca**
(Orientadora)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Prof. Dr. **Mário Augusto Tavares Russo**
(Co-orientador)
(IPVC Viana do Castelo - Portugal)

Aprovada

Prof. Dr. **Homero Fonseca Filho**
(Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo/EACH-USP)

Aprovada

Profa. Dra. **Maria Teresa Françoso**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovada

Profa. Dra. **Mariana Abrantes Giannotti**
(Escola Politécnica/EP-USP)

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:

Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Agradecimentos

A Prof^a Ana Paula Camargo Larocca pela confiança e oportunidade concedida para que pudéssemos dar continuidade a este projeto, pelos valiosos conselhos e orientações em momentos oportunos. Ao Prof. Mário Tavares Russo pela coorientação e importantes contribuições para o desenvolvimento da pesquisa e pela recepção na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (ESTG/IPVC).

Ao Prof. Edson Martins de Aguiar (*in memoriam*) pela idealização do tema e orientação inicial dessa pesquisa. Em sua memória, agradeço aos seus familiares no nome da sua esposa, Thais Aguiar e seus filhos Victor e Larissa.

A Prof^a Mariana Abrantes Giannotti pela amizade, acompanhamento da pesquisa e grandiosos conselhos e ensinamentos. Aos Professores José Caixeta Filho, Valdir Salsch e Homero Fonseca Filho por contribuírem nas diversas importantes decisões desse estudo.

Ao Prof. Joaquim Mamede Alonso pelos seus ensinamentos e recepção na Escola Superior Agrária do (ESA/IPVC) e aos amigos que também me receberam Sônia, Jorge, Ivone e André.

Ao meu marido, Eduardo Frollini, que me acompanhou desde o início desta jornada, sempre acreditando na minha capacidade, incentivando nos momentos mais difíceis e, sobretudo pelo apoio técnico ao modelo matemático e programação como excelente matemático que é.

Aos meus pais Luceleide e Carlos e minha irmã Carla, pela educação e apoio nas decisões, por me compreenderem nos momentos em que não pude estar presente.

Pelas amizades feitas no LabGeo da Poli, Janaína, Juliana e em especial a Natália, que além de nos tornamos grandes amigas compartilhou sua experiência contribuindo muito para a elaboração da pesquisa.

Agradeço a Deus por me conceder sabedoria, força, determinação para concluir esse projeto de vida e profissional.

Epígrafe

O homem é a mais insana das espécies. Ele adora um Deus invisível e destrói a natureza visível. Sem saber que essa natureza que ele está destruindo é esse Deus que ele está adorando.

- Hubert Reeves

Resumo

SPIGOLON, L. M. G. **A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários.** 217 p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) instituída em 2010 previa a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, no entanto, o prazo venceu em 2014 e o objetivo não foi alcançado. O aterro sanitário, na hierarquia da gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), é a última opção, mas não a menos importante dentre as possibilidades de destinação final ambientalmente adequada, pois é a infraestrutura de tratamento e destino final que pode receber uma gama variada de RSU de forma ambientalmente segura. O Consórcio Público é um instrumento previsto na PNRS para que os municípios possam se associar, obtendo economia de escala viabilizando a operação de aterros sanitários de forma compartilhada. Porém, com o compartilhamento dos aterros sanitários surge a questão do custo de transporte do RSU, uma vez que os municípios depositarão seus resíduos fora do seu território. Dessa forma este trabalho objetivou identificar áreas adequadas para a localização de aterros sanitários, considerando os aterros sanitários já existentes na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 5 e, utilizar modelos matemáticos que minimizem os custos de transporte de RSU e operação dos aterros sanitários. Para alcançar os objetivos propostos utilizou-se do método de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários, desenvolvido em ambiente SIG e composto pelo estabelecimento de critérios ambientais, sociais e econômicos que foram classificados de acordo com níveis de adequação e ponderados através de Análise de Decisão Multicritério (MCDA), resultando em um mapa de adequação, que foi cruzado com o mapa de áreas de restrição, gerado em cenários de escalas diferentes, obtendo assim, o mapa final de adequação - cenário 1 e 2. A esses cenários, foram sobrepostos os aterros sanitários existentes. A otimização da rede de transporte de RSU consistiu em um modelo matemático de estrutura de Programação Quadrática Inteira Mista (MIQP). Na função objetivo foram incorporadas as distâncias para a obtenção da localização ótima dos aterros sanitários existentes em áreas adequadas, estando sujeita as restrições de ordem física e comportamental. No cenário 1, identificou-se que 62% da área da UGRHI 5 é classificada como adequada para a localização de aterros sanitários, 15% como de média adequação e 23% como de restrição e, dos 18 aterros sanitários existentes, 14 estão localizados em áreas adequadas. No cenário 2, identificou-se que 30% da área é considerada adequada, 5% como de média adequação e 65% como de restrição e, apenas 7 aterros sanitários estão localizados em áreas adequadas. A aplicação do modelo de otimização para o cenário 1, resultou em 5 aterros sanitários como solução ótima, já no cenário 2 a solução ótima é de 4 aterros. Considerando que o cenário 2 possui características mais restritivas que o 1; que o aumento do custo total diário do cenário 1 para o 2 é de apenas 7,56% e que a capacidade total atual dos aterros sofreria uma redução de apenas 1,5%, pode-se concluir que o cenário 2 é o mais apropriado para a formação de consórcios públicos na UGRHI 5.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário, SIG, seleção de áreas, otimização.

Abstract

SPIGOLON, L. M. G. The MSW transportation network optimization based on the use of GIS and analysis of multi-criteria decision for the setting of landfills. 217 p. Ph.D. Thesis – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2015.

The National Policy of Solid Waste (NPSW) established in 2010 provided for the environmentally suitable final destination of waste, however, the deadline expired in 2014 and the goal was not achieved. The landfill, in the hierarchy of the integrated management of Municipal Solid Waste (MSW), is the last option, but not the least important one amongst the possibilities for environmentally suitable final destination, because it is the infrastructure of treatment and final destination which can receive a varied range of MSW in an environmentally safe way. The Public Consortium is an instrument provided for in the NPSW so that the cities can join in, achieving scale economy allowing the shared landfill operation. However, with the share of landfills comes the problem of MSW transportation costs, since the cities will deposit their waste outside their territories. Thus, this study aimed to identify appropriate areas for the setting of landfills, considering the landfills already existing in the Water Resources Management Units (WRMU) 5, and use mathematical models that minimize the MSW transportation costs and landfill operation. To achieve the proposed goals it was used the selection method of suitable areas for landfill setting, developed in GIS environment and consisting of the establishment of environmental, social and economic criteria which were classified according to the adequacy levels and considered by the Multi Criteria Decision Analysis (MCDA), resulting in an adequacy map, which was cross-checked with the restriction area map generated at different scale scenarios, thereby obtaining the final adequacy map - scenarios 1 and 2. On these scenarios, the existing landfills were overlapped. The MSW transportation network optimization consisted of a mathematical model of Mixed Integer Quadratic Programming structure (MIQP). In the objective function the distances were incorporated to obtain the optimal location of the existing landfills in appropriate areas, which are subject to restrictions of physical and behavioral order. In scenario 1, it was identified that 62% of the WRMU 5 area is classified as adequate for the setting of landfills, 15% as average adequate and 23% restricted, and from the 18 existing landfills, 14 are located in suitable areas. In scenario 2, it was identified that 30% of the area is considered adequate, 5% average adequate and 65 % restricted, and only 7 landfills are located in suitable areas. The application of the optimization model for scenario 1 resulted in 5 landfills as an optimal solution, yet, in scenario 2 the optimal solution is of 4 landfills. Considering that scenario 2 has more restrictive characteristics than scenario 1; the total daily cost increase of scenario 1 compared with 2 is only 7.56% and that the total current capacity of the landfills would suffer a reduction of only 1.5%, it can be concluded that scenario 2 is the more suitable for the formation of public consortium in WRMU 5.

Keywords: municipal solid waste, landfill, GIS, sites selection, optimization.

Lista de ilustrações

Figura 1.1- Faixas populacionais dos municípios do Estado de São Paulo.....	28
Figura 2.1 – Entidades de Gestão de Resíduos Sólidos – Portugal	44
Figura 2.2- Processo de Ocupação territorial do Estado de São Paulo: 1940 a 2000.....	46
Figura 2.3- Corte esquemático de aterro segmentado em células	53
Figura 2.4- Mecanismos de migração de contaminantes em aterros	54
Figura 2.5 - Mapa ilustrativo de áreas que apresentam condicionantes técnicas e/ou legais para a instalação de aterros sanitários regionais no estado de São Paulo.....	58
Figura 2.6-Veículo compactador 10, 12, 15 e 19m ³	62
Figura 2.7– Caminhão coletor do tipo poliguindaste	62
Figura 2.8- Caminhão basculante trucado.	63
Figura 2.9– Caminhão tipo Roll-On/Roll-Off	63
Figura 2.10- Conjunto transportador: cavalo mecânico e semirreboque.....	64
Figura 2.11- Gráfico do custo de implantação da ET x custo de transporte do RSU.....	66
Figura 3.1- Regiões Administrativas (RA).....	80
Figura 3.2- Regiões Metropolitanas	80
Figura 3.3- Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)	81
Figura 3.4- UGRHI e vocação econômica.....	82
Figura 3.5 - Bacias hidrográficas do Estado de São Paulo	83
Figura 3.6- Área de estudo (UGRHI – 5 - PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAÍ).....	84
Figura 3.7- Densidade demográfica dos municípios do Estado de São Paulo.	85
Figura 3.8- Faixas de geração de RSU (t/dia)	88
Figura 3.9- Mapa dos municípios com a indicação do Enquadramento no IQR nova proposta.	89
Figura 4.1- Representação gráfica metodológica das etapas do estudo	94
Figura 4.2 - Principais variáveis e referências consultadas.	97
Figura 4.3- Classes de adequação.....	101
Figura 4.4- Fluxograma “Model Builder”: Edição dos dados	110
Figura 4.5– Fluxograma “Model Builder” : Transformando vetor em raster	111
Figura 4.6- Classificação dos atributos da variável vulnerabilidade dos aquíferos à poluição.	111
Figura 4.7- Classificação dos atributos da variável classe de solo.....	112
Figura 4.8- Classificação dos atributos da variável distância de recursos hídricos.....	112

Figura 4.9 - Classificação dos atributos da variável tipo de vegetação	113
Figura 4.10 - Classificação dos atributos da variável uso e ocupação do solo	113
Figura 4.11- Classificação dos atributos da variável Unidade de conservação	114
Figura 4.12- Classificação dos atributos da variável distância de centros urbanos	114
Figura 4.13- Classificação dos atributos da variável distância de aeródromos	115
Figura 4.14 - Classificação dos atributos da variável declividade do terreno.....	115
Figura 4.15 - Classificação dos atributos da variável proximidade dos centros geradores de RSU.....	116
Figura 4.16 - Classificação dos atributos da variável uso e ocupação do solo	116
Figura 4.17– Procedimentos finais para a obtenção do mapa de adequação.	117
Figura 4.18-Mapa de adequação	118
Figura 4.19- Mapa de restrições – Cenário 1	121
Figura 4.20- Mapa final de adequação - Cenário 1	122
Figura 4.21- Mapa final de adequação e aterros sanitários existentes – Cenário 1	125
Figura 4.22– Mapa de restrições – Cenário 2	127
Figura 4.23– Mapa final de adequação – Cenário 2	128
Figura 4.24- Raio das áreas de risco Aviário	129
Figura 4.25– Mapa final de adequação e aterros sanitários existentes – Cenário 2.....	131
Figura 5.1– Localização dos aterros sanitários - Cenário 1	146
Figura 5.2- Localização dos aterros sanitários - Cenário 2.....	150

Lista de tabelas

Tabela 2.1- Responsável pelo gerenciamento do resíduo	37
Tabela 2.2- Distribuição típica para comparação gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos em função do estágio de desenvolvimento do país.....	38
Tabela 2.3- Composição gravimétrica média dos RSU no Brasil	39
Tabela 2.4- Destino dos RSU no Brasil e em outros países	41
Tabela 2.5- Formas de execução do Serviço Público e instrumentos de concretização das formas de execução.	50
Tabela 2.6- Destinação final de RSU (t/dia) no Brasil	52
Tabela 2.7 - Métodos de Análise de Decisão Multicritério	72
Tabela 3.1 - Índices estimativos de geração per capita de resíduos sólidos urbanos, adotados em função das faixas populacionais.	86
Tabela 3.2- Geração e destino do RSU da UGRHI 5	86
Tabela 3.3-Vida útil e capacidade dos aterros receptores de RSU dos municípios pertencentes a UGRHI 5.....	90
Tabela 4.1-Grupos de critérios	98
Tabela 4.2 - Descrição das variáveis selecionadas e referências consultadas.	99
Tabela 4.3- Intervalos considerados para a classificação dos níveis de adequação.	102
Tabela 4.4– Escala de ponderação - AHP	104
Tabela 4.5- Número de variáveis e respectivo índice randômico.....	105
Tabela 4.6-Média do resultado da Matriz de comparação par a par.....	107
Tabela 4.7-Relação de dados espaciais e alfanuméricos	109
Tabela 4.8 – Variáveis de restrição	119
Tabela 4.9 – Localização dos aterros existentes na UGRHI 5	124
Tabela 5.1– Valor contratual médio para disposição de resíduos e rejeitos em aterro sanitários – Período 2003 a 2008.	135
Tabela 5.2-Custo para operação de aterros sanitários	136
Tabela 5.3- Custo de transporte com base nos serviços terceirizados de transporte da unidade de transbordo ao destino final.....	138
Tabela 5.4– Capacidade licenciada (ano base 2014) dos aterros sanitários existentes na UGRHI 5 e que se encontram em locais adequados.....	139
Tabela 5.5- Aterros sanitários receptores e respectivos municípios.....	144
Tabela 5.6– Aterros sanitários receptores e respectivos municípios.	148

Tabela 5.7- Comparativo entre os cenários..... 151

Lista de Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Urbana
ABRETE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
AGRA	Área de Gerenciamento de Risco Aviário
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANAC	Agência Nacional da Aviação Civil
ANP	<i>Analytic Network Process</i>
AP	Aterro Privado
APM	Área de Proteção de Mananciais
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
COMAER	Comando da Aeronáutica
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONDEPHAAT	Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico.
CENEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CEPAM	Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Pública
CI	Índice de Consistência
CPLA	Coordenadoria de Planejamento Ambiental
CR	Taxa de Consistência
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
DNPM	Polígonos do Departamento Nacional de Produção Mineral
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>

ESTG	Escola Superior de Tecnologia e Gestão
ET	Estações de Transferência
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FMCDM	<i>Fuzzy Multicriteria Decision-Marking</i>
FMUSP	Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
GIREM	Gestão Municipal de Resíduos Sólidos
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAC	Instituto Agrônômico
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEA	Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo
INR	Instituto Nacional de Resíduos
IPT	Instituto de Pesquisa
IPVC	Instituto Politécnico de Viana do Castelo
IQR	Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MCDA	Análise de Decisão Multicritério
MMM	Ministério do Meio Ambiente
MT	Ministério dos Transportes
NIMBY	<i>Not In My Back Yard</i>

OCA	Órgão de Controle Ambiental
OD	Origem-Destino
OSM	<i>Open Street Map</i>
OWA	<i>Ordered Weighted Averaging</i>
PBT	Peso Bruto Total
PCJ	Piracicaba Capivari Jundiaí
PEV	Postos de Entrega Voluntária
PGIRS	Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Região Administrativa
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAW	<i>Simple Additive Weighting</i>
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SCA	<i>Spatial Cluster Analysis</i>
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SESD	Sistema Especial de Suporte à Decisão
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SI	Sem Informação
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SLU	Serviço de Limpeza Urbana
SMA	Secretaria do Meio Ambiente

SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TMB	Tratamento Mecânico Biológico
UC	Unidade de conservação
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WLC	<i>Weighted Linear Combination</i>
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

Sumário

1. INTRODUÇÃO	27
1.1 Hipótese	29
1.2 Objetivos	30
1.2.1 Objetivo Geral	30
1.2.2 Objetivo Específico	30
1.3 Justificativa	31
1.4 Organização da Tese	32
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
2.1 Resíduos Sólidos	35
2.1.1 Gerenciamento e gestão integrada de resíduos sólidos	39
2.1.2 Panorama da gestão de RSU	41
2.1.3 Consórcio Público	48
2.2 Aterro sanitário	52
2.2.1 Normas brasileiras para a implantação de aterros sanitários	55
2.2.2 Concepção de aterros sanitários	59
2.2.3 Veículos de transporte de RSU	61
2.2.4 Estação de Transferência (ET)	64
2.2.5 Licenciamento Ambiental para aterro sanitário	66
2.3 Ferramentas de tomada de decisão para a Gestão de RSU	69
2.3.1 Análise de Decisão Multicritério (MCDA)	69
2.3.2 MCDA & SIG	71
2.3.3 Problemas de Localização & SIG	76
3. ÁREA DE ESTUDO	79
3.1 Divisões do Estado de São Paulo	79
3.2 A divisão adotada	82
3.3 Panorama da gestão de RSU na UGRHI 5	85

4. SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO SIG E ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO ...	91
4.1 Etapas do estudo	93
4.1.1. Etapa 1: Procedimentos preliminares.....	95
4.1.2 Etapa 2: Seleção e classificação das variáveis	95
4.1.3 Etapa 3: Análise de Decisão Multicritério (MCDA)	103
4.1.4 Etapa 4: Tratamento dos dados espaciais.....	108
4.1.5 Etapa 5: Mapa final de adequação	119
4.1.5.1 Cenário 1	119
4.1.5.2 Cenário 2.....	126
5. OTIMIZAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE DE RSU	133
5.1 Considerações em relação aos custos adotados no modelo.....	133
5.1.1 Custos de operação do aterro sanitário	134
5.1.2 Custos de transporte	137
5.2 Capacidade do aterro sanitário	139
5.3 Distâncias rodoviárias	140
5.4 Modelo matemático.....	141
5.5 Análise dos resultados	143
5.5.1 Cenário 1	143
5.5.2 Cenário 2	146
5.5.3 Comparação entre os cenários.....	151
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
APÊNDICES.....	169
APÊNDICE A – Fluxograma geral “Model Builder” para a obtenção do mapa de adequação	171
APÊNDICE B – Matriz de comparação par a par	173
APÊNDICE C – Termo de consentimento.....	179

APÊNDICE D – Mapa de adequação – Valor do raster	181
APÊNDICE E – Mapa de adequação – Níveis de adequação.....	183
APÊNDICE F – Cenário 1: Matriz O-D.....	185
APÊNDICE G- Cenário 2: Matriz O-D.....	203
APÊNDICE H- Cenário 1: Software AIMMS	213
APÊNDICE I- Cenário 2: Software AIMMS.....	217

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e os atuais padrões de consumo são uma das causas da crescente produção de resíduos no Brasil e no mundo. Os impactos ambientais, como a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, a poluição do ar, por exemplo, pelo gás metano oriundo do não tratamento adequado e a má disposição dos resíduos, são consequências da má gestão que potencializam problemas sanitários, ambientais e sociais e que contribuem para o comprometimento de um desenvolvimento sustentável.

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). A PNRS tem como objetivo dispor sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de Resíduos Sólidos (RS), às responsabilidades dos geradores e do poder público. Os prazos para adequação da destinação final de resíduos estabelecidos pela PNRS venceram em agosto de 2014 e os objetivos não foram totalmente alcançados. 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. Todas essas ações têm como objetivo evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança; bem como minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010a).

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 de RS.

Um dos grandes entraves para que os municípios cumpram os objetivos da PNRS são os altos custos associados à gestão e gerenciamento dos resíduos. O custo de operação de um aterro sanitário é bastante elevado, principalmente se tratando de municípios de pequeno porte¹.

¹ De acordo com a metodologia empregada pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012b) são considerados como municípios de pequeno porte aqueles que possuem população menor que 100 mil habitantes;

Esse custo pode ser duas vezes mais elevado para a operação de aterros sanitários que processam pouca quantidade de resíduos, do que aterros que processam uma grande quantidade, refletindo o efeito de economia de escala², ou seja, os municípios que possuem menor número de habitantes, portanto, menor geração de RS, não conseguem atingir ganhos com a economia de escala nos custos de operação de seus próprios aterros sanitários.

O Estado de São Paulo possui 645 municípios, 570 desses municípios possuem população inferior a 100 mil habitantes, ou seja, 88% dos municípios do Estado são considerados municípios de pequeno porte. A Figura 1.1 ilustra as faixas populacionais dos municípios paulistas.

Figura 1.1- Faixas populacionais dos municípios do Estado de São Paulo

Fonte: adaptado IBGE (2010)

De fato, os municípios de pequeno porte 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

municípios de médio porte aqueles com mais de 100 mil habitantes e menos de 1 milhão de habitantes, e por fim, municípios de grande porte aqueles com população acima de 1 milhão de habitantes.

² Economia de escala: “Uma situação em que o custo médio de produção decresce quando aumenta a dimensão da fábrica e a quantidade produzida. Mais precisamente: o fenômeno verifica-se para uma função de produção, em que ao duplicar-se todos os fatores de produção consegue-se mais do que duplicar o produto total.” (SAMUELSON e NORDHAUS, 1990).

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.

O Decreto Federal nº 6.017 de 2007, que regulamenta a Lei 11.107 de 2005, dispõe sobre normas gerais para a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios contratarem consórcios públicos para a realização de objetivos de interesse comum. Esta Lei instituiu procedimentos para se contratar as relações de cooperação federativa, podendo ser utilizada nas relações de município para com município, mas, também, nas relações dos Estados com os municípios e, ainda, da União com os Estados e municípios (RIBEIRO, 2007). Assim, com a gestão compartilhada entre municípios é possível obter ganhos com a economia de escala na concentração de operações, permitindo a diluição de custos de manutenção dos aterros sanitários para a recepção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). 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, aumenta também os custos com transporte. Para que estes custos sejam compensados com os restantes benefícios de compartilhamento do aterro, é imperativo estudar a localização da infraestrutura a compartilhar no âmbito do arranjo logístico entre os municípios.

Com efeito, a seleção de áreas adequadas para a localização do aterro sanitário é um aspecto importante a considerar nos estudos de otimização. A localização de tal infraestrutura requer a aplicação de uma série de critérios de análise e ponderação para estabelecer a área mais adequada do ponto de vista econômico, social e ambiental.

No presente trabalho utiliza-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) integrado às técnicas de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) para a seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários e modelos matemáticos para a otimização da rede de transporte de RSU.

1.1 Hipótese

Neste trabalho testou-se duas hipóteses de pesquisa sobre o uso integrado de SIG e MCDA para o estudo de identificação de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários, bem

como o uso do SIG e problemas matemáticos para a otimização de uma rede de transporte da de RSU conforme descrito a seguir:

- A. É possível analisar os critérios ambientais, sociais e econômicos relacionados a seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários através do uso integrado de SIG e técnicas de MCDA, e
- B. Os modelos matemáticos de otimização podem representar as redes de transporte de RSU para o compartilhamento de aterros sanitários por um conjunto de municípios.

A primeira hipótese versa sobre a viabilidade de utilizar a MCDA para identificar a importância das variáveis consideradas em estudos de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários em plataforma SIG. Enquanto que a segunda hipótese faz referência a validade do uso de modelo matemático de otimização para a rede de transporte de RSU para conjunto de municípios de uma determinada região.

Acredita-se que, caso as duas hipóteses não forem refutadas, será válidos usar tais ferramentas na análise de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários e, por conseguinte, na definição de arranjos logísticos que podem ser utilizados para a formação de consórcios intermunicipais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar áreas adequadas para a localização de aterros sanitários utilizando SIG e MCDA e potenciais geometrias de arranjos logísticos para a formação de consórcios públicos utilizando modelo matemático de otimização.

1.2.2 Objetivo Específico

- Identificar as variáveis mais relevantes relacionados a estudos de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários e através de MCDA

ponderá-las de acordo com o grau de importância para então, em plataforma SIG, gerar um mapa de adequação considerando critérios ambientais, sociais e econômicos

- Identificar variáveis de restrição para localização de aterros sanitários e a partir deste, gerar um mapa de restrição com cenários de escalas diferentes e cruzá-los com o mapa de adequação obtendo assim, um mapa final de adequação
- Identificar aterros sanitários existentes e em operação localizados em áreas adequadas a partir do mapa final de adequação.
- Desenvolver um modelo matemático de otimização para obter a minimização do custo operacional do aterro sanitário e o custo de transporte do RSU entre os municípios e os aterros sanitários.

1.3 Justificativa

O Brasil gerou em 2014, cerca de 78,6 milhões de toneladas de RS, o que representa um aumento de 2,9% em relação ao ano de 2013, índice superior à taxa de crescimento populacional registrada no mesmo período, que foi estimada em 0,9% (ABRELPE, 2015). Isso mostra que, mesmo com a estagnação do crescimento da população, a quantidade de resíduos gerados continua a crescer, uma das causas é o favorável cenário econômico do período.

Ainda segundo o mesmo estudo, 58,4% dos resíduos coletados foram encaminhados para locais adequados (aterros sanitários) e 41,6% foram encaminhados para locais inadequados (lixões a céu aberto ou aterros controlados). Adicionalmente, cerca de 7 milhões de toneladas de resíduos deixaram de ser coletadas no país neste ano e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio.

De acordo com a PNRS (BRASIL, 2010a), na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Ou seja, a política preconiza todas as etapas acima e por último a disposição final ambientalmente adequada, o que significa a disposição em aterros sanitários, dos rejeitos (que são apenas os resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por

processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada).

Apesar do aterro sanitário, na hierarquia da gestão integrada de RS, ser a última opção, não é a menos importante dentre as possibilidades de destinação final ambientalmente adequada, porque é o órgão de tratamento e destino final necessário para receber uma gama variada de resíduos sólidos de forma ambientalmente segura, até ao estabelecimento de outras formas de valorização e gestão dos resíduos, que levam tempo a serem implantadas e que conduzirão à diminuição de deposição em aterro. Em alguns contextos é inclusive a única opção economicamente viável.

Dessa forma, o presente estudo justifica-se por contribuir com a PNRS indicando os aterros sanitários existentes que se encontram em locais adequados e, através do modelo matemático de otimização, propor arranjos logísticos de municípios com o objetivo de reduzir o custo de transporte entre os municípios e os aterros sanitários e o custo de operação; viabilizando o compartilhamento dos aterros e a formação de consórcios públicos.

1.4 Organização da Tese

A presente tese está estruturada em 6 capítulos os quais estão organizados em subcapítulos. A tese inicia-se com o Capítulo 1, no qual é apresentada a contextualização do problema abordado, os objetivos propostos e a justificativa do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica, a qual aborda aspectos gerais sobre resíduos sólidos, aterros sanitários, ferramentas de tomada de decisão para a gestão dos RSU e Análise de Decisão Multicritérios (MCDA).

No Capítulo 3 é apresentada a justificativa para a definição da área de estudo e as características intrínsecas da região.

No Capítulo 4 é apresentado o método empregado para o estudo de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários bem como os materiais necessários para a concretização do estudo; por fim é apresentado os resultados do estudo.

O Capítulo 5 descreve o modelo matemático de otimização proposto para a rede de transporte de transporte de RSU e os resultados do modelo.

E finalmente, no Capítulo 6, é apresentada as considerações e recomendações finais do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema proposto para este trabalho situa-se na interface de diversas áreas de conhecimento, culminando para um trabalho interdisciplinar. Dessa forma, a revisão bibliográfica aborda os seguintes assuntos: resíduos sólidos, gerenciamento e gestão integrada dos resíduos sólidos, consórcio público, aterro sanitário, ferramentas de tomada de decisão para a gestão de RSU e Análise de Decisão Multicritério (MCDA). O capítulo é concluído com o estado da arte do uso integrado de MCDA e SIG, assim como problemas de localização e SIG.

2.1 Resíduos Sólidos

De acordo com a ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004) resíduos sólidos são: “resíduos nos estados sólidos e semissólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviço e de varrição”. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede de esgotos ou corpos d’ água, ou exijam para isso, soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível.

A PNRS (BRASIL, 2010a) define Resíduos Sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Quanto a classificação, a ABNT NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente à saúde pública. Dessa forma os resíduos sólidos são classificados em duas classes: Classe I - Perigosos, e Classe II - Não Perigosos.

- Resíduos Classe I- Perigosos: pelas suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento da mortalidade ou apresentarem efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada
- Resíduos Classe II- Não perigosos:
 - Não inertes: incluem-se nesta classe os resíduos potencialmente biodegradáveis ou combustíveis
 - Inertes: perfazem esta classe os resíduos considerados inertes e não combustíveis.

Com relação à responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos pode-se classificá-los em:

- Resíduos Sólidos Urbanos: incluem os resíduos domiciliares gerados nas residências, os resíduos comerciais, produzido em escritórios, lojas, hotéis, supermercados, restaurantes e em outros estabelecimentos afins, os resíduos de serviço, oriundos da limpeza pública urbana, além dos resíduos de varrição das vias públicas, limpezas de galerias, terrenos, córregos, praias, feiras, podas, capinação.

- Resíduos industriais: correspondem aos resíduos gerados nos diversos tipos de indústrias de processamentos. Em função da periculosidade oferecida por alguns desses resíduos é proposto o seguinte agrupamento:

- Resíduos de serviços de saúde: são os produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde, consultórios odontológicos e outros estabelecimentos afins. Esses resíduos podem ser agrupados em dois níveis distintos:

- Resíduos Comuns: compreendem os restos de alimentos, papéis, invólucros, etc.;

- Resíduos sépticos: constituídos de restos de salas de cirurgia, áreas de isolamento, centros de hemodiálise, etc. O seu manuseio (acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final) exige atenção especial, devido ao potencial risco à saúde pública que podem oferecer.

- Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários: constituem os resíduos sépticos, que podem conter organismos patogênicos, tais como: matérias de higiene e de asseio pessoal, restos de alimentos, etc., e veicular doenças de outras cidades, estados e países.
- Resíduos agrícolas: correspondem aos resíduos das atividades da agricultura e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, esterco animal. A maior preocupação, no momento, esta voltada para as embalagens de agroquímicos, pelo alto grau de toxicidade que apresentam, sendo alvo de legislação específica.
- Entulho: constitui-se de resíduos da construção civil: demolições, restos de obras, solos de escavações, etc.
- Resíduos radioativos (resíduos sólidos atômicos): são resíduos provenientes dos combustíveis nucleares. Seu gerenciamento é de competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CENEN).

O presente trabalho trata especificamente da destinação ambientalmente adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A Tabela 2.1 sintetiza o quadro de responsabilidade pelo gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos no Brasil.

Tabela 2.1- Responsável pelo gerenciamento do resíduo

Tipos de RS	Responsável
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
De Serviços	Prefeitura
Industrial	Gerador (indústrias)
Serviços de saúde	Gerador (hospitais etc.)
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador (portos etc.)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	Gerador*
Radioativo	CNEN

* a Prefeitura é corresponsável por pequenas quantidades (geralmente menos que 50 kg/dia) e de acordo com a legislação municipal específica.

Fonte: Jardim³ et al. (1995) apud Schalch et al. (2002)

³ JARDIM, N.S. et al. Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995. 278 p.

Notadamente os RSU são constituídos por misturas de restos de alimentos, papéis, papelões, plásticos, metais, vidros, madeiras, tecidos, couros, capinas, etc. A composição dos resíduos sólidos varia com o estágio de desenvolvimento do local onde está inserido. Na Tabela 2.2, conforme Tchobanoglous, Theisen e Virgil (1993), é apresentado uma comparação da composição dos RSU entre diferentes países e respectiva renda per capita.

Tabela 2.2- Distribuição típica para comparação gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos em função do estágio de desenvolvimento do país.

Componentes	Países de baixa renda per capita (%)	Países de média renda per capita (%)	Países de elevada renda per capita (%)
Orgânico			
Restos de alimento	40 - 85	20 - 65	6 - 30
Papel e papelão	1 - 10 (soma)	8 - 30 (soma)	20 - 45 e 5 - 15
Plásticos	1 - 5	2 - 6	2 - 8
Têxteis	1 - 5	2 - 10	2 - 6
Borracha e couro	1 - 5	2 - 10	0-2
Podas e madeira	1 - 5 (soma)	1 - 10 (soma)	10 - 20 e 1 - 4
Inorgânicos			
Vidros	1 - 10	1 - 10	4 - 12
Metais em geral	1 - 5	1 - 5	3 - 12
Terra, pó, cinzas	1 - 4	1 - 30	0 - 10

Fonte: Tchobanoglous, Theisen e Virgil (1993)

Nota-se que os resíduos orgânicos, compõem a maior parte do total dos RSU nos países de baixa renda per capita, no entanto, isso não ocorre em países com elevada renda per capita, onde a maior parcela do total dos RSU é composta por papel e papelão. Essas taxas podem variar de região para região, o que depende de fatores econômicos, sociais, culturais, sazonais, porte, e do tipo de coleta adotada.

Corroborando com a Tabela 2.2, a estimativa a matéria orgânica represente metade de todo o RSU produzido. A Tabela 2.3 apresenta a composição gravimétrica média dos RSU no Brasil, considerando como base a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados em 2008.

Tabela 2.3- Composição gravimétrica média dos RSU no Brasil

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material reciclável	31,9	58.527,50
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100	183.481,50

Fonte: BRASIL (2012b)

Tendo em vista a grande quantidade e diversidade de materiais que compõe os RSU torna-se necessário apresentar um equacionamento ambientalmente adequado para esses resíduos. Desse modo o gerenciamento e a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos são essenciais para a destinação ambientalmente adequada dos RSU. No tópico seguinte é realizada uma abordagem sobre o gerenciamento e a gestão integrada dos resíduos sólidos bem como as tecnologias aplicáveis ao tratamento dos resíduos.

2.1.1 Gerenciamento e gestão integrada de resíduos sólidos

BRASIL (2010a) define o gerenciamento integrado de resíduos sólidos como:

conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos [...].

Para Monteiro (2001), o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos é,

em síntese, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo o asseio da cidade, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos - para a eles ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e ambientalmente corretas-, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais.

De acordo com BRASIL (2010a), a gestão integrada de resíduos sólidos é “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”.

Para Mesquita Junior (2007), a gestão integrada de resíduos sólidos pode ser entendida como “a maneira de conceber, implementar e administrar sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos, considerando uma ampla participação dos setores da sociedade e tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável”.

Segundo Russo (2011), a gestão dos resíduos sólidos passa por diversos pilares estruturantes que constituem uma política integrada, da qual se destacam: adoção de sistemas integrados, baseada na redução na fonte, na reutilização de resíduos, na reciclagem, na transformação dos resíduos (que inclui a incineração energética e a compostagem) e a disposição em aterros (energéticos e de rejeitáveis).

Assim, pode-se afirmar que a gestão dos resíduos sólidos está relacionada com a tomada de decisão estratégica e a organização do setor, enquanto que o gerenciamento de resíduos sólidos refere-se a aspectos tecnológicos e operacionais.

A proposta de um modelo de gestão e de gerenciamento de resíduos sólidos exige o conhecimento das distintas formas de tratamento e destinação final. O tratamento envolve um conjunto de atividades e processos com o objetivo de promover a reciclagem de alguns componentes, como plástico, papelão, metais e vidros, além da transformação da matéria orgânica em composto, para ser utilizado como fertilizantes e condicionador do solo, ou em polpa para a utilização como combustível (SCHALCH et al. 2002).

A Tabela 2.4 ilustra o percentual dos RSU destinados aos aterros, incineração e compostagem em diferentes países.

Tabela 2.4- Destino dos RSU no Brasil e em outros países

País	Aterros e/ou lixões (%)	Incineração com recuperação energética (%)	Compostagem + reciclagem (%)
Brasil	89	-	11
República Tcheca	76	14	10
Espanha	62	6	32
França	41	32	27
Itália	58	8	34
Portugal	73	20	7
Reino Unido	79	7	14
Hungria	92	6	2
Suécia	9,7	46,7	43,6
Estados Unidos	54,4	13,6	32
Argentina	95	-	5
Colômbia	95	-	5
Tailândia	30 (só aterro)	54 (Inclui lixões)	16

Fonte: Vilhena (2010)

De acordo com a Tabela 2.4, contrariando a hierarquia do gerenciamento e gestão integrada dos RSU, nota-se que com exceção da Suécia o aterro sanitário e lixões são os principais destinos dos RSU. A compostagem aparece mais notável na Suécia, Itália, Estados Unidos, Espanha e França, mas tem pouca representatividade nos demais países. Já a incineração com exceção da Suécia e França é pouco praticada e não consta como destino de RSU em Brasil, Argentina e Colômbia.

2.1.2 Panorama da gestão de RSU

Este tópico tem como proposta apresentar o panorama da Gestão dos RSU em Portugal, no Brasil e no Estado de São Paulo. Parte desta pesquisa foi desenvolvida em Portugal, através do programa Ciência Sem Fronteiras, na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana Do Castelo (ESTG/IPVC). O País foi escolhido por ser um dos estados membros da União Europeia que há 20 anos tem aprimorado seus planos e diretrizes para uma eficiente e eficaz gestão dos resíduos sólidos. O panorama nacional apresenta o rápido e recente processo de urbanização do Brasil, bem como os marcos regulatórios das políticas de

saneamento e resíduos sólidos. Por fim, o panorama do Estado de São Paulo, que em 2006 institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos.

2.1.2.1 A gestão de RSU em Portugal

Portugal, por exemplo, iniciou suas atividades para combater a má destinação dos RSU em 1995, com o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos (PERSU). Nesse período, apurou-se que 98% dos RSU eram coletados, no entanto, apenas 23% da população era atendida por um sistema de tratamento dos resíduos. Produzia-se 9.589 toneladas de resíduos por dia no país, mais da metade de todo esse resíduo era depositado de forma inadequada. Os resíduos eram depositados em mais de 300 lixões espalhados pelo país, 5 instalações de compostagem e 13 aterros sanitários, no entanto a exploração desses aterros e o resultado da compostagem não eram satisfatórios. Perante esse cenário, os seguintes objetivos foram traçados para o ano 2000: encerramento e erradicação dos lixões; execução de infraestrutura de tratamento e destino final de RSU e apoio à coleta seletiva e à reciclagem.

O PERSU, aprovado pelo Governo e publicado em 1997 (sendo analisado pelo Conselho de Acompanhamento em 1998 e posteriormente em 1999), teve como objetivo inicial fornecer aos responsáveis políticos, um conjunto fundamentado de sugestões que pudessem ser úteis para a tomada de decisão. Assim, o PERSU foi inserido no contexto do Artigo 7º do Quadro de Diretiva dos Resíduos (Diretiva 75/442/CEE, do Conselho), a qual preconiza a elaboração de um ou mais planos de gestão de resíduos (PIEDADE; AGUIAR, 2010).

O PERSU se desenvolveu em 2 fases, a primeira dedicada ao diagnóstico do setor, que visava identificar os problemas reais e possíveis sugestões para solucioná-los. Na segunda etapa, expandiram-se as análises e desenvolveram-se bases orientadoras para uma nova política de gestão de RSU. Foi então, traçado o quadro de produção, caracterização, valorização e destinação final dos RSU. Um dos grandes obstáculos para a nova gestão dos RSU foi a carência de uma educação ambiental sólida, no sentido de conscientizar a população em reduzir, reciclar e reutilizar. Outro obstáculo foi a cobrança pelo serviço referente a coleta e tratamento dos resíduos, através de taxas e tarifas.

As responsabilidades no âmbito do sistema de gestão integrada de RSU foram definidas em dois tipos de entidades gestoras, os chamados “tecnossistemas”- municípios ou associação de

municípios e os sistemas multimunicipais. No primeiro caso, o município sozinho ou uma associação de municípios é responsável pelo tratamento e disposição dos resíduos. No caso dos sistemas multimunicipais, a gestão pode ser efetuada diretamente pelos municípios ou atribuída, mediante contrato de concessão, à entidade pública ou privada de natureza empresarial.

Nos sistemas multimunicipais (por atribuição e concessão), a gestão e exploração é concessionada de acordo com o Decreto-Lei nº 294 de 1994. As empresas resultantes da associação de entidades do setor público devem deter obrigatoriamente a parte maioritária do capital social. Seu enquadramento legal também se encontra amparado pelos Decreto-Lei 372 de 1993, Dec.-Lei 379 de 1993 e Decreto-Lei 294 de 1994 (PIEDADE; AGUIAR, 2010).

Hoje, Portugal encontra-se na segunda fase do programa, o PERSU II com 23 entidades de gestão de RSU (Figura 2.1), que cobrem o país e são exemplos de consórcios de municípios em 11 casos, que são os sistemas intermunicipais. Os 12 casos restantes são entidades em que o Estado é acionista com 51% do capital social e os acionistas restantes são os municípios.

Figura 2.1 – Entidades de Gestão de Resíduos Sólidos – Portugal

O Decreto-Lei nº 183 de 2009, certifica que o quadro legislativo atual consagra as normas aplicáveis em matéria de instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros. Este Decreto-Lei estabelece as características técnicas específicas para cada uma das classes de aterros definidas como: aterro para resíduos inertes, aterro para resíduos não perigosos (em que se enquadram os resíduos urbanos), e aterros para resíduos perigosos, estabelece ainda a tipologia de procedimentos e critérios de admissão de resíduos nestas instalações. A Decisão 2003/33/CE, veio, entretanto, estabelecer os critérios e processos de admissão de resíduos em aterro, a vigorar a partir de Julho de 2005, sobrepondo-se neste âmbito às matérias constantes do Decreto-Lei nº 152 de 2002, entretanto vigorado

pelo Decreto-Lei nº 183 de 2009. A deposição em aterro sanitário deve ser encarada como uma operação final, à qual se deve recorrer apenas quando for técnica ou economicamente inviável a reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização dos resíduos (PIE DADE E AGUIAR, 2010).

2.1.2.2 A gestão de RSU no Brasil

A população brasileira em 2010 era de 190.755.799 habitantes, sendo que desse montante 85% residiam em áreas urbanas (IBGE, 2010). Esse quadro é recente, visto que no ano de 1960 essa porção era de apenas 45% (IBGE, 1997). Esse cenário foi estimulado pelo crescimento econômico e industrial do País, as cidades que antes eram locais de moradia da minoria passaram a ser da maioria, essa transição trouxe sérios problemas de infraestrutura e nos serviços urbanos, como por exemplo, os serviços públicos de saneamento que incluem o abastecimento de água potável, a coleta e tratamento de esgoto sanitário, a estrutura para a drenagem urbana e o sistema de tratamento e destinação final dos RSU.

De acordo com São Paulo (Estado) (2014a) o processo de ocupação do solo do território paulista acarretou uma distribuição desigual tanto da infraestrutura quanto da população. Na Figura 2.2 é possível observar o processo de evolução da densidade populacional do Estado de 1940 a 2000, ilustrando a desigualdade no processo de ocupação territorial.

Figura 2.2- Processo de Ocupação territorial do Estado de São Paulo: 1940 a 2000

Fonte: SEADE⁴ (2006) apud São Paulo (Estado) (2014a)

Apenas em 2001, com a aprovação do Estatuto das Cidades foi estabelecido novos marcos regulatórios de gestão urbana, como as leis de saneamento básico e de resíduos sólidos. Atualmente o Brasil conta com um arcabouço legal que estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos por meio da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) e para a prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos por meio da Lei Federal de Saneamento Básico, Lei nº 11.445 de 2007 (Brasil, 2012a).

Para complementar o quadro legislativo quanto à prestação dos serviços públicos permitindo estabelecer relações de cooperação federativa, foi publicada a Lei nº 11.107 de 2005 que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e o Decreto nº 6.017 de 2007 que regulamenta a referida Lei.

O sistema de limpeza urbana integra as etapas de geração, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, além da limpeza dos logradouros. Os estados interferem no problema através de seus órgãos de controle ambiental, exigindo dos geradores de resíduos perigosos (Classe I) sistemas de manuseio, de

⁴ FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). **Atlas SEADE da economia paulista**. São Paulo: SEADE, 2006.

estocagem, de transporte e de destinação final adequada. Contudo, nem sempre essa interferência é eficaz, o que faz com que apenas uma pequena quantidade desses resíduos receba tratamento e/ou destinação final adequado (MONTEIRO, 2001).

2.1.2.3 A gestão de RSU no Estado de São Paulo

A gestão dos resíduos sólidos corresponde a uma preocupação no Estado de São Paulo, refletida pela Lei Estadual nº 12.300 de 2006, que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos - PERS. O Estado objetiva, portanto, tornar a gestão dos resíduos sólidos em seu território mais eficiente, por meio da atuação conjunta da Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SMA) e da CETESB (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

A PNRS (BRASIL, 2010a) dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

A PNRS reforça a importância do planejamento na gestão dos resíduos sólidos ao condicionar o acesso a recursos destinados a ações e programas relacionados ao seu manejo à elaboração de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

Assim, o Estado de São Paulo, por meio do Decreto Estadual nº 57.817 de 2012, instituiu o Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos, cuja coordenação está a cargo da Secretaria de Meio Ambiente, por meio da sua Coordenaria de Planejamento Ambiental (CPLA), nos termos da Resolução SMA nº 38 de 2012. O programa apoiará os municípios paulistas de pequeno porte (com até 100.000 habitantes) que não estejam inseridos em regiões metropolitanas. Os demais municípios do Estado receberão orientações específicas por parte da SMA, em atuação conjunta com a Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA) (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

2.1.3 Consórcio Público

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988) concebe entidades territoriais autônomas dotadas de governo próprio, a divisão do poder é feita entre as seguintes esferas da federação: União, Estado, Distrito Federal e Município. O poder local, no caso o município, tem como vantagem a autonomia de poder mais próxima aos cidadãos, fortalecendo assim a democracia. Dar autonomia a um ente federado significa descentralizar os recursos entre os entes, fazendo com que os mesmos tenham seus próprios recursos para a execução de competências cabíveis aos mesmos, não dependendo financeiramente da União.

Há na República um conjunto de competências que são exclusivas dos municípios, e outras comuns à União, aos Estados, Distrito Federal e aos Municípios. (BATISTA, 2011). A exemplo das competências exclusivas do município tem-se a organização do sistema de coleta e disposição final de resíduos líquidos e sólidos. As competências comuns são atribuições compartilhadas entre as esferas da federação como é o caso da saúde onde tanto a união, o estado e o municipal podem e devem atuar.

Conforme o princípio da subsidiariedade⁵, a prioridade na execução das políticas públicas é do município, mesmo quando o financiamento, ou disciplina, dessas políticas pertence a outros entes da Federação (RIBEIRO, 2007). A descentralização de poder faz com que a gestão dos municípios seja dinâmica motivando assim, o surgimento de consórcios públicos, a criação de uma pessoa jurídica de natureza regional justifica a sua existência. O consórcio auxilia os governos municipais na execução de sua missão constitucional, e essa necessidade é tanto maior quanto o papel que assume na prestação de serviços públicos (BATISTA, 2011). A Constituição Federal de 1988 trata dessa questão no Artigo 175 que diz: “Incumbe ao Poder Público, na forma da Lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos”.

Os consórcios formados pelos municípios é uma forma organizacional de cooperação destinada a solucionar problemas e obter resultados conjuntos de natureza superior às

⁵ O princípio de subsidiariedade assegura que as tomadas de decisões ocorram tão próximas quanto possível do cidadão, trata-se de um princípio segundo o qual a União e os Estados só devem atuar quando a sua ação seja mais eficaz do que uma ação desenvolvida a nível regional ou local – exceto quando se trate de domínios da sua competência exclusiva (BATISTA, 2011).

capacidades política, financeira e operacional individuais dos municípios (CRUZ; ARAÚJO; BATISTA, 2011).

Deste modo, o Decreto Federal nº 6.017 de 2007 regulamenta a Lei 11.107 de 2005 que dispõe sobre normas gerais para a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios contratarem consórcios públicos para a realização de objetivos de interesse comum, tais instrumentos proporcionaram regulação jurídica para a formação dos consórcios.

Anteriormente à promulgação da lei federal sobre os consórcios públicos, os municípios e os Estados utilizavam o instrumento do convênio de cooperação para se associarem a outras entidades públicas ou privadas. Trata-se de um acordo de vontades que possui características próprias, porque os interesses são recíprocos e não contraditórios (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

A nova Lei permite a participação de entes federados distintos, a responsabilidade solidária dos partícipes, o compromisso institucionalizado dos partícipes de assumir suas responsabilidades com o rateio das despesas, a possibilidade de licitação compartilhada, a ampliação dos valores licitatórios, entre outras questões (CRUZ; ARAÚJO, 2011).

O consorcio público consiste na união entre dois ou mais entes da federação sem fins lucrativos, com a finalidade de prestar serviços e desenvolver ações conjuntas que visem o interesse coletivo e benefícios públicos. Por meio do consórcio público, os municípios de territórios contíguos ou não podem estabelecer um planejamento regional estratégico, mapear conjuntamente as suas demandas, eleger suas prioridades e prestar assistência técnica, visando elaborar projetos integrados, encaminhar os pleitos de solicitação de recursos e realizar a gestão dos contratos e convênios (BATISTA, 2011). Com o objetivo de prestar um serviço de qualidade com a melhor relação custo benefício, deve ser considerada a possibilidade de administração consorciada entre municípios, envolvendo todos os serviços ou apenas a coleta, o tratamento ou a disposição final (MESQUITA JUNIOR, 2007).

O consorcio público é uma das formas legais que o poder público possui para executar os serviços públicos. Dentre as formas de execução tem-se a forma direta, indireta ou a gestão associada (MESQUITA JUNIOR, 2007). A Tabela 2.5 apresenta as três formas de execução e os instrumentos de concretização das formas de execução.

Tabela 2.5- Formas de execução do Serviço Público e instrumentos de concretização das formas de execução.

Formas de execução	Concretização das formas de execução
Direta	Poder Público (por si só) ou Órgão, departamento etc.
Indireta (delegação)	Delegação Legal (Autarquia, empresa pública ou sociedade de economia mista). Delegação Contratual (Concessão, parceria público-privada, permissão ou terceirização).
Gestão Associada (Consórcio Público ou Convênio de Cooperação)	Contrato de Programa.

Fonte: Mesquita Junior (2007)

O Contrato de Programa tem sede na Lei Federal nº 11.107 de 2005 e é definido no Decreto nº 6.107 de 2007, como “instrumento pelo qual devem ser constituídas e reguladas as obrigações que um ente da Federação, inclusive sua administração indireta, tenha para com outro ente da Federação, ou para com consórcio público, no âmbito da prestação de serviços públicos por meio de cooperação federativa”.

A PNRS (BRASIL, 2010a) incentiva a constituição de consórcio público para a gestão dos RSU. O Artigo 19º trata do conteúdo mínimo para o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos o qual deve identificar as possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios, considerando, nos critérios da economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais. O §9º do mesmo Artigo estabelece que o Município que optar por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, assegurado que o plano intermunicipal preencha os requisitos estabelecidos nos incisos I a XX, pode ser dispensado da elaboração do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Ainda de acordo com Brasil (2010a) o Artigo 45 estabelece:

Os consórcios públicos constituídos, nos termos da Lei, com o objetivo de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos, têm prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal.

A reflexão sobre a importância das soluções consorciadas é reforçada por questões apontadas no Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, tais como: o número considerável de municípios que dispõem os RSU em outras localidades; a vida útil e a disponibilidade de

locais apropriados para a instalação de aterros; a viabilidade econômica da reciclagem dos mais diversos resíduos, além de beneficiar e fortalecer o cumprimento dos acordos de logística reversa; entre outras (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

A implantação e operação de aterro sanitário e demais infraestruturas que possa compor o sistema de tratamento e disposição final ambientalmente adequada, feita de forma associada e compartilhada, além de atender diretamente aos interesses dos municípios envolvidos, apresenta maior economia de escala, traz mais vantagens aos parceiros e apresenta resultados mais significativos do ponto de vista da gestão integrada dos RSU.

O tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos RSU estão inseridos na gestão de políticas públicas caracterizada pelas ações do campo da Gestão Ambiental e do Desenvolvimento Urbano. O fenômeno da urbanização e conurbação faz do tema, prioridade na agenda do poder público, o assunto demanda articulações em nível regional, e com participação do Estado, da União, da iniciativa privada e da sociedade, dessa forma o tratamento e disposição final dos RSU envolvem todos os setores da economia e sua cadeia produtiva passa por toda a sociedade e, portanto, a identificação das soluções passa por todos os envolvidos. Assim o consórcio público responde de forma adequada a este desafio, pois sua estrutura é uma das poucas instituições com personalidade jurídica pública que possibilita a interação e a participação de todos estes atores (BATISTA, 2011).

De acordo com Cruz e Araújo (2011) a Fundação Prefeito Faria Lima – Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal (CEPAM) identificou 105 consórcios paulistas, que abrangem 536 municípios, dos quais 523 pertencem ao Estado de São Paulo (81,08% dos municípios do Estado), nove são de Minas Gerais e quatro do Rio de Janeiro.

Segundo outro levantamento de arranjos intermunicipais realizado pelo Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos (GIREM) foi identificado no Estado de São Paulo, 45 associações e consórcios públicos formalmente constituídos, desses 25 têm como área de atuação os resíduos sólidos, alguns têm interface de atuação com meio ambiente, recursos hídricos e saneamento (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

2.2 Aterro sanitário

A forma mais agressiva ao ambiente e à saúde das pessoas de se depositar os resíduos sólidos é em lixões ou vazadouros. Este tipo de destinação é uma forma inadequada de disposição final, caracterizada pela sua descarga sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ambiental ou à saúde pública. O aterro controlado, que do ponto de vista ambiental pouco se diferencia dos lixões, não possui o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, não merecendo assim, aprovação legal como solução.

A Tabela 2.6 apresenta um comparativo de 2013 a 2014 da quantidade de RSU em toneladas por ano que foi destinada para locais inadequados (lixões e aterros controlados) e em locais adequados (aterros sanitários).

Tabela 2.6- Destinação final de RSU (t/dia) no Brasil

Ano Enquadramento	2013		2014	
	t/dia	%	t/dia	%
Inadequado	78.987	41,7	81.258	41,6
Adequado	110.323	58,3	113.975	58,4

Fonte: ABRELPE (2015).

A disposição de resíduos em aterro sanitário é uma operação de eliminação que consiste basicamente na colocação dos resíduos no terreno através de técnicas que evitam perigos para a saúde pública, degradação da paisagem, poluição das águas subterrâneas e outros riscos ambientais.

A legislação brasileira, por meio da norma ABNT NBR 8419 (ABNT, 1992), define aterro sanitário como sendo:

uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se necessário.

Geralmente os resíduos são depositados em camadas, que se sobrepõem, através de meios mecânicos de movimentação, sendo efetuada diariamente a sua cobertura com material inerte – terra. Evita-se assim a ocorrência de cheiros, o espalhamento de materiais pelo vento e a proliferação de roedores e insetos.

Segundo Boscov (2008), para controlar a migração de contaminantes (lixiviado) deve-se revestir a superfície do terreno em contato com os resíduos com camada impermeável, segmentar a área do aterro em células envoltas por materiais impermeáveis, drenar, coletar e tratar o lixiviado. A Figura 2.3 apresenta o corte esquemático de aterros segmentado em células.

Figura 2.3- Corte esquemático de aterro segmentado em células

Fonte: BOSCOV (2008)

Um aterro sanitário deve ser projetado e operado de forma a controlar a emissão de contaminantes para o meio ambiente, tem a finalidade de reduzir a possibilidade de poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e do ar e eliminar impactos adversos na cadeia alimentar (BOSCOV, 2008).

Os principais problemas no que se refere ao aterro sanitário são as emissões líquidas (lixiviado) e gasosas (biogás). A construção do aterro deve prever sistemas de drenagem e concentração destes efluentes, de modo a minimizar a sua quantidade. Por isso é importante a separação dos lixiviados de todas as outras águas, superficiais e pluviais, mediante sistemas

de drenagem distintos. Os processos biológicos decorrem durante anos após o encerramento, provocando a continuação de ocorrência de lixiviados e gases, e uma estabilização lenta do aterro, o que condiciona a utilização futura do local (PIEDADE e AGUIAR, 2010). A Figura 2.4 apresenta mecanismos de migração de contaminantes em aterros sanitários.

Figura 2.4- Mecanismos de migração de contaminantes em aterros

Fonte: BOSCOV (2008)

De acordo com Lanza e Carvalho (2006), o aterro sanitário deve contar com todos os elementos de proteção ambiental, tais como sistema de impermeabilização de base e laterais, sistema de recolhimento diário e cobertura final, sistema de coleta e drenagem de líquidos lixiviados, sistema de coleta e tratamento dos gases, sistema de drenagem superficial, sistema de tratamento de líquidos lixiviados e sistema de monitoramento. Além dessas exigências, também deve-se avaliar as probabilidades do impacto local e sobre a área de influência do empreendimento e, buscar medidas para mitigá-los.

O aterro sanitário pode ser classificado como: aterro sanitário para resíduos perigosos, aterro para resíduos não perigosos, aterro para resíduos inertes e aterro sanitário energético. De acordo com Obladen N. L., Obladen N. T. R. e Barros (2009) o aterro para resíduos perigosos é destinado a receber os resíduos perigosos – Classe I, os resíduos devem receber tratamento inicial antes da disposição final, tendo em vista reduzir ou eliminar substâncias nocivas neles presentes. O aterro sanitário para resíduos não perigosos, também conhecido por aterro

sanitário convencional ou mecanizado trata-se de uma obra de engenharia, que se desenvolve em áreas previamente determinada, reúne características mínimas que evitam a proliferação de vetores, riscos à saúde pública e a degradação ambiental. No aterro sanitário também são depositados os resíduos Classe II – não inertes e da Classe III – inertes em condições especiais, são utilizadas máquinas para as operações de escavação, preparo do terreno, corte de material de cobertura, movimentação, espalhamento, compactação e recobrimento do resíduo. A área deve ser delimitada e cercada, devendo ser realizado o controle do acesso de veículos e pessoas. O aterro sanitário energético é aquele no qual se dá a coleta dos gases produzidos, através de um sistema de tubulações coletoras às chaminés de captação, o sistema é acoplado a um equipamento de sucção e a um sistema de purificação do biogás para remoção do CO₂ e filtro para gás sulfídrico, o gás metano já purificado é armazenado em gasômetros para utilização em motogeradores para produção de energia elétrica.

2.2.1 Normas brasileiras para a implantação de aterros sanitários

Para a implantação de aterros sanitários de resíduos sólidos no Brasil, devem ser observadas as normas técnicas existentes. Nas normas técnicas são estabelecidos vários critérios que devem ser seguidos. A seguir são listadas as normas técnicas referentes à implantação de aterro sanitário no Brasil:

- ABNT NBR 8419 (ABNT, 1992) – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos
- ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação
- ABNT NBR 15849 (ABNT, 2010) – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte: Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

De acordo com as Normas Técnicas ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda-se adotar os fatores elencados adiante, porém, à critério do Órgão de Controle Ambiental (OCA), esses parâmetros podem ser alterados se tecnicamente justificados:

- a- *Topografia: esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplanagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1 % e inferior a 30%*
- b- *Geologia e tipos de solos existentes: tais indicações são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m*
- c- *Recursos hídricos: o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água*
- d- *vegetação: o estudo macroscópico da vegetação é importante, uma vez que ela pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores*
- e- *acessos: fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação*
- f- *vida útil: recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;*
- g- *custos: análise da viabilidade econômica do empreendimento;*
- h- *Distância mínima a núcleos populacionais: recomenda-se que esta distância seja superior a 500 m*

Em qualquer caso, obrigatoriamente, os seguintes critérios devem ser observados:

I- o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos

II- entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região

III- o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s

Nota: Um subsolo com coeficiente de permeabilidade superior a 5×10^{-5} cm/s pode vir a ser aceito pelo OCA, a seu critério, dependendo do tipo de resíduo a ser disposto e das demais condições hidrogeológicas do local do aterro, desde que este valor não exceda 10^{-4} cm/s.

IV- os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

O Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo elaborado pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA), Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) e CETESB em 2014 (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b), traz em seu Anexo VI a Lista de condicionantes técnicas e legais para a implantação de aterros sanitários. De acordo com São Paulo (Estado) (2014b) a implantação de aterros sanitários deve observar algumas condicionantes legais, desde a sua etapa de planejamento até o licenciamento ambiental. As condicionantes podem ter caráter impeditivo ou orientativo, tais como segurança aeroviária, presença de patrimônio histórico-cultural, proteção dos recursos hídricos, geomorfologia, qualidade do ar, uso e ocupação do solo, proteção e conservação da biodiversidade.

Com o objetivo de subsidiar o planejamento e a elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, foi feito um levantamento dos critérios a serem observados para a instalação de aterros sanitários com base na legislação ambiental e em normas da ABNT vigentes (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b). Como resultado, foram selecionadas algumas condicionantes para a construção de um mapa ilustrativo (Figura 2.5), o qual tem o objetivo de apresentar a distribuição dos critérios legais no território e, consequentemente, as áreas nas quais incidem algum impedimento ou recomendações sobre a implantação de aterros sanitários.

Figura 2.5 - Mapa ilustrativo de áreas que apresentam condicionantes técnicas e/ou legais para a instalação de aterros sanitários regionais no estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (Estado) (2014b)

No mapa da Figura 2.3 foram considerados os seguintes critérios técnicos e legais (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b):

- *Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Norte (Decreto Estadual nº 49.215, de 07 de dezembro de 2004)*
- *Zoneamento Ecológico Econômico da Baixada Santista (Decreto Estadual nº 58.996, de 25 de março de 2013)*
- *Inventário Florestal do Estado de São Paulo 2010*
- *Legislação de Áreas de Proteção de Mananciais*
- *Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)*
- *Área de Gerenciamento de Risco Aviário (Agra) (Raio de 20 km ao redor de aeroportos)*

- Polígonos do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) das fases de concessão de lavra e lavra garimpeira.

A Figura 2.5 mostra que são escassas as áreas disponíveis para a instalação de aterros sanitários em todo o estado, situação essa dificultada pela presença de áreas com características impeditivas. Dessa forma, fica evidente a necessidade de soluções regionais para a utilização comum de áreas que apresentem aptidão para receber os aterros sanitários.

A seguir são apresentados com maiores detalhes os critérios técnicos e legais considerados no processo de licenciamento acerca da instalação de aterros sanitários (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b):

- 1- Inventário Florestal 2010
 - 1.1 Lei da mata atlântica
 - 1.2 Sistema Nacional de Unidades de Conservação
 - 1.2.1 Reservas da Biosfera
 - 1.3 Código Florestal
 - 1.4 Lei do Serrado Paulista
- 2- Área de proteção de mananciais (APM)
- 3- Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)
 - 3.1 ZEE Litoral Norte
 - 3.2 ZEE Baixada Santista
- 4- Condicionantes Aéreas
- 5- Normas técnicas para a implantação de aterro sanitário
- 6- Áreas tombadas pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico (CONDEPHAAT)
- 7- Zoneamento Minerário

2.2.2 Concepção de aterros sanitários

O dimensionamento das áreas de deposição dos resíduos depende da estimativa de resíduos a receber e do método de exploração adotado, a área destinada à deposição dos resíduos corresponde à zona mais sensível do aterro, devendo por isso ser projetada de forma cuidadosa e rigorosa, e observando as normas técnicas e ambientais estabelecidas.

No estabelecimento do leiaute do aterro sanitário deve-se considerar os seguintes elementos: zona de entrada e controle, áreas de deposição de resíduos, zona para depósito de terras de cobertura, zonas para os sistemas de tratamento de lixiviados e biogás, edifício de apoio e zonas de estacionamento de viaturas.

O terreno de fundação deve possuir características mecânicas que permitam suportar as cargas transmitidas pelo aterro. A escavação é necessária para eliminar as camadas superficiais de terra com fracas características mecânicas e proporcionar uma superfície regular e homogênea que permita um contato satisfatório com o sistema de impermeabilização do fundo. A caracterização dos terrenos de fundo deve ser efetuada na fase de projeto.

Para o Monteiro (2001), a área total destinada ao aterro sanitário pode ser estimada, em metros quadrados multiplicando a quantidade de RSU coletada diariamente, em toneladas, pelo fator 560 (este fator baseia-se nos seguintes parâmetros usualmente utilizados em projetos de aterros: vida útil 20 anos; altura do aterro 20 metros, talude de 1:3 e ocupação de 80% do terreno com área operacional).

Para Vilhena (2010), o cálculo teórico das dimensões da célula diária de RSU podem ser estimadas pelas seguintes expressões:

$$h = \sqrt[3]{\frac{v}{p^2}} \quad (1)$$

$$l = b = \sqrt[2]{\frac{v}{h}} = \sqrt[3]{p \cdot v} \quad (2)$$

$$A = b^2 + 2bhp \quad (3)$$

Em que:

h= altura da célula (m).

v = volume de resíduos da célula (m^3), igual à geração de RSU (t/dia) dividida pela densidade do RSU compactado (com valores médios de γ em torno de $0,7 \text{ t/m}^3$).

p = talude da rampa de trabalho ($p=3$).

l = profundidade da célula (m).

b = frente de operação (m).

A = área a ser coberta com terra (m^2).

Esses são um dos principais métodos para o dimensionamento de aterros sanitários encontradas na literatura e praticados usualmente. Notadamente, ambas consideram fatores primordiais para a concepção do aterro sanitário como a quantidade de RSU a ser depositada diariamente, altura e talude do aterro, o fator proposto pelo Monteiro (2001) considera um critério bastante significativo para tal projeção, a vida útil do aterro sanitário.

2.2.3 Veículos de transporte de RSU

Os veículos de transporte de RSU podem ser diferenciados conforme a função a que se destinam. Veículos com menor capacidade, com compactadores ou não, são utilizados para a coleta domiciliar e podem também ser utilizados para o transporte do resíduo do município ao aterro sanitário, entretanto é mais viável economicamente, utilizar veículos de maior capacidade, concentrando grande quantidade de resíduo em um único veículo reduzindo os custos de transportes. A opção por utilizar ou não o mesmo veículo da coleta para o transporte do resíduo entre o município e o aterro depende da quantidade de RSU e da distância de transporte entre o município e o aterro sanitário.

De acordo com o Vilhena (2010), os veículos de coleta e transporte de RSU domiciliar podem ser de carroceria convencional ou com compactador. O tipo de veículo a ser empregado está condicionado aos seguintes fatores: quantidade de resíduos, forma de acondicionamento do resíduo e condições de acesso ao ponto de coleta.

Os veículos com compactador possuem carrocerias fechadas, contendo dispositivos mecânicos ou hidráulicos que possibilitam a distribuição e compressão dos resíduos no interior da carroceria. O sistema de carregamento pode ser traseiro, lateral ou frontal, Os

veículos compactadores de carregamento traseiro, modelo mais utilizado no Brasil, possui capacidade volumétrica útil podendo variar de 10, 12, 15 e 19 m³ (Figura 2.6), podendo possuir dispositivo hidráulico para basculamento automático e independente de contêineres plásticos padronizados (MONTEIRO, 2001; VILHENA, 2010).

Figura 2.6-Veículo compactador 10, 12, 15 e 19m³

Fonte: DAMAEQ (2015)

Outro tipo de equipamento utilizado é o veículo compactador com mecanismo para basculamento de recipiente estacionário, que pode proporcionar maior eficiência na coleta, em particular em locais que apresentam grande concentração de resíduos. (MONTEIRO, 2001; VILHENA, 2010). Para grandes volumes de RSU domiciliar, podem ser utilizadas várias caixas compactadoras, com capacidade de 7 m³. Para ser produtivo, esse equipamento deve operar pequenas distâncias, entre o local onde as caixas ficam estacionadas e o local de descarga. A Figura 2.7 ilustra o caminhão tipo poliguindaste.

Figura 2.7– Caminhão coletor do tipo poliguindaste

Fonte: ISOTEC Ambiental (2015)

Os caminhões basculantes podem ser do tipo toco ou trucado, ambos são utilizados para a remoção de RSU, entulho e terra. O caminhão basculante toco é um veículo com apenas dois eixos, com caçamba de 5 a 8 m³ de capacidade. O caminhão basculante trucado é um veículo

com três eixos, a caçamba deve ter capacidade de 12 m³ de capacidade. A Figura 2.8 ilustra o caminhão tipo basculante trucado.

Figura 2.8- Caminhão basculante trucado.

Fonte: ISOTEC Ambiental (2015)

Os veículos de maior capacidade são do tipo roll-on/roll-off e as carretas. O roll-on/roll-off é um veículo próprio para transporte de caixas compactadoras estacionárias, com capacidade de 7 m³ a 15 m³ e caçamba roll-on/roll/off com capacidade de 26 m³. A Figura 2.9 ilustra o caminhão tipo Roll-On/Roll-Off.

Figura 2.9– Caminhão tipo Roll-On/Roll-Off

Fonte: ISOTEC Ambiental (2015)

As carretas, conjunto transportador (Figura 2.10) formado pelo semirreboque basculante com capacidade de 25 m³, tracionado por um cavalo mecânico (4x2) com força de tração de 45 toneladas, é utilizado para transporte de grande quantidade de resíduos. Seu carregamento é feito por pá carregadeira e a descarga, no destino, pelo basculamento da caçamba.

Figura 2.10- Conjunto transportador: cavalo mecânico e semirreboque.

Fonte: ISOTEC Ambiental (2015)

Os veículos de transporte de RSU de menor capacidade são convenientes para municípios com geração muito reduzida de RSU, pois, o mesmo pode ser utilizado para o transporte, sem custos adicionais com a aquisição, manutenção e operação de veículos de maior capacidade. No entanto, para municípios em que é grande a geração de RSU os custos com veículos de maior capacidade podem se tornar economicamente viável. Nesse caso é fundamental a presença de uma infraestrutura de apoio para o depósito dos resíduos e posterior transbordo para veículos de maior capacidade. Sendo esta infraestrutura conhecida como Estações de Transferência (ET).

2.2.4 Estação de Transferência (ET)

De acordo com a agência norte-americana *United States Environmental Protection Agency* (US EPA, 2002), as ET de resíduos desempenham um papel importante no sistema de gestão global de resíduos de uma comunidade, servindo como elo entre programas de coleta de resíduos sólidos de uma comunidade e os empreendimentos de disposição final dos resíduos.

As ET são unidades instaladas próximas ao centro de massa de geração de resíduos para que os caminhões de coleta, depois de cheios, façam a descarga e retornem rapidamente para complementar o roteiro de coleta. São elementos chave dentro de um sistema integrado de processamento e disposição final de RSU.

O uso de caminhões com maior capacidade de carga permite que o custo por tonelada por quilometro transportado seja minimizado. Dentre esses custos estão a depreciação do veículo e pneus, mão de obra, combustível, entre outros. A movimentação de veículos transportando

resíduos pelas estradas também é um fator importante a considerar. A ET possibilita uma maior flexibilidade nas opções de localização dos aterros sanitários. Portanto, a ET é um componente estratégico que deve ser considerado sempre que existirem zonas dispersas com elevada produção de RSU, áreas específicas com elevada sazonalidade de RSU e quando o local de coleta estiver distante dos aterros sanitários. A infraestrutura deve ser ponderada no modelo técnico quando justifique otimizar os custos de transporte, reduzir os recursos humanos diretos na operação, aumentar a área de intervenção de um sistema integrador de RSU e disciplinar o fluxo de viaturas nos eixos viários de acesso ao destino final.

De acordo com o Monteiro (2001), o aumento na distância entre o ponto de coleta de resíduos e o aterro sanitário causa os seguintes problemas:

- atraso nos roteiros de coleta, alongando a exposição dos resíduos nas ruas
- aumento do tempo improdutivo da guarnição de trabalhadores parados à espera do retorno do veículo que foi descarregar os resíduos no aterro
- redução da produtividade dos caminhões de coleta, que são veículos especiais e caros

Dentre as justificativas acima e considerando que o presente trabalho estuda um conjunto de cidades que terão um único local para o aterro sanitário e que cada cidade está a uma determinada distância desse local, a integração das ET no sistema mostra-se como um elemento chave para que o sistema se torne economicamente viável.

A decisão da implantação de ET é baseada na distância de transporte entre o município e o aterro sanitário e da quantidade de RSU gerada. A distância ideal entre o município e o aterro, ou seja, a distância que torna a ET atrativa economicamente é apresentada nos parágrafos seguintes.

De acordo com o Monteiro (2001), as estações de transferência são implantadas quando a distância entre o município e o aterro é superior a 25 km. Em grandes cidades, onde as condições de tráfego rodoviário tornam extremamente lentos os deslocamentos, é possível encontrar estações implantadas em locais cuja distância do aterro sanitário é inferior a 20 km. Os veículos ou equipamentos de transferência devem transportar pelo menos três vezes a carga de um caminhão de coleta.

De acordo com o INR (2002), da análise econômica efetuada para um conjunto de situações e dimensões de ET é inferido que os custos anuais associados se anulam para distâncias que situam no intervalo de 25 a 30 km. É nessa distância que se encontra o equilíbrio para se equacionar a viabilidade de uma ET.

A Figura 2.11 ilustra as retas das curvas de custo com a ET e os custos com o transporte direto.

H- Custo direto e amortização do investimento anual da ET

$F(x_i)$ – custo de transporte ton.km

Figura 2.11- Gráfico do custo de implantação da ET x custo de transporte do RSU.

Fonte: INR (2002)

De acordo com US EPA (2002), embora o custo-eficácia varia, estações de transferência geralmente tornam-se economicamente viável quando a distância de transporte para a instalação de eliminação é maior do que 15 a 20 milhas (24,14 a 32,19 km).

2.2.5 Licenciamento Ambiental para aterro sanitário

De acordo com Sánchez (2008) no Brasil, estudos ambientais são exigidos para se obter uma licença ambiental para realizar atividades que utilizem recursos ambientais ou tenham o potencial de causar degradação ambiental. Tal licença começou a ser solicitada em alguns

Estados em meados da década de 70 e foi incorporado à legislação federal como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

O Decreto nº 99.274 de 1990, substituiu o Decreto nº 88.351 de 1983, que regulamentava a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938 de 1981) detalha o licenciamento ambiental em fases distintas (BRASIL, 1990):

- Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento da atividade, contento requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos estaduais ou federais de uso do solo
- Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto executivo aprovado
- Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Implantação.

De acordo com a Resolução Conama nº 237 de 1997 cabe ao governo federal, representado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) o licenciamento de “empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional”. O IBAMA deve ouvir os órgãos ambientais dos Estados e municípios, assim como, quando pertinente, obter o parecer de outros órgãos da administração pública, o IBAMA poderá delegar aos Estados o licenciamento de atividade com significativo impacto ambiental de âmbito regional (CONAMA, 1997).

O licenciamento ambiental no Estado de São Paulo teve início com o Regulamento da Lei Estadual nº 997 de 1976, aprovado pelo Decreto Estadual nº 8.468 de 1976, que dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente. A CETESB, subordinada a SMA, é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição incluindo aqueles casos envolvendo a avaliação de impacto ambiental.

O licenciamento ambiental para aterro sanitário no estado de São Paulo é descrito nos parágrafos seguintes conforme informações da CETESB⁶ (2015).

⁶ <http://licenciamentoambiental.cetesb.sp.gov.br/atividades-e-empreendimentos-sujeitos-ao-licenciamento-ambiental/roteiros/aterros-sanitarios/>

A solicitação do licenciamento ambiental para aterros sanitários no estado de São Paulo é realizada junto a CETESB através do Portal de Licenciamento Ambiental (PLA). A solicitação deve ser realizada para novos empreendimentos, ampliação de empreendimentos existentes e solicitação de licença de instalação.

Para novos empreendimentos existem duas situações: (1) a implantação do empreendimento não implique na relocação da população, na supressão de vegetação primária ou secundária em estágios avançado ou médio de regeneração e que a capacidade de projeto do empreendimento seja inferior a 100 t/dia; (2) novos empreendimentos que não se enquadram em uma ou mais características da situação 1.

Para a ampliação de empreendimentos já existentes também existem duas situações: (1) é necessário que a ampliação do empreendimento não implique na relocação de população; na supressão de vegetação primária ou secundária em estágios avançado ou médio de regeneração; a capacidade total de projeto do empreendimento (já licenciada + Ampliação) seja inferior a 100 t/dia, ou a ampliação prevista não ultrapassa em mais de 10% da capacidade volumétrica total licenciada no projeto inicial; será mantida a disposição da mesma tipologia de resíduos originalmente licenciada; a ampliação será realizada sobre o maciço existente ou em área contígua ao mesmo; e tenha o índice de qualidade de Aterro de Resíduos (IRQ) do aterro adequado; (2) ampliação de empreendimentos existentes que não se enquadrem em uma ou mais características da situação 1.

Os empreendimentos novos ou que pretendem realizar ampliação que se enquadrem na situação 2 devem solicitar o licenciamento ambiental prévio – Licença Prévia (LP) de empreendimento potencial ou efetivamente causadores de degradação ambiental com base em estudos ambientais: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Relatório Ambiental Preliminar (RAP) ou Estudo Ambiental Simplificado (EAS), definidos pelas Resoluções CONAMA 01 de 1986, 237 de 1977 e Resolução SMA nº 54 de 2004. O Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Desenvolvimento e Avaliação Ambiental da CETESB, é responsável pela análise desses estudos e elaboração dos pareceres técnicos que subsidiam o licenciamento com avaliação de impacto ambiental.

O pedido de LP das atividades / empreendimentos que constituem fonte de poluição (Decreto Estadual 47.397 de 2002), consideradas potencial ou efetivamente causadoras de degradação

do meio ambiente, será dirigido também ao Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental, com apresentação de RAP ou EIA/RIMA.

2.3 Ferramentas de tomada de decisão para a Gestão de RSU

Este tópico tem como objetivo apresentar as ferramentas de tomada de decisão para a Gestão de RSU e suas aplicações. A princípio é apresentado os principais conceitos sobre Análise de Decisão Multicritérios (MCDA), em seguida, é apresentado o uso integrado de SIG e MCDA para o problema de gestão de RSU. E por fim, o uso de SIG com problemas de localização para o mesmo fim.

2.3.1 Análise de Decisão Multicritério (MCDA)

A Análise de Decisão Multicritério (MCDA) é um conjunto de técnicas com o objetivo de proporcionar uma ordenação global de opções, desde a opção mais para a menos preferida. As opções podem ser diferentes na medida em que elas atingem vários objetivos, sendo que a melhor opção pode não ser aquela que atinge todos os objetivos (DODGSON et al., 2009).

Os métodos de apoio a decisão multicritério, objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificar prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente quando coexistem interesses em conflito (MELLO et al., 2003). Os autores definem ainda, alguns conceitos utilizados em MCDA:

- decisores: aqueles que fazem escolhas e assumem preferências, como uma entidade única, chamada também de agente ou tomador de decisão
- analista: pessoa encarregada de interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar o problema, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para a decisão
- modelo: conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões em resultado quantitativo
- alternativas: ações globais que podem ser avaliadas isoladamente

- critérios: ferramentas que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vistas particulares.

Bana e Costa e Beinat (2010) tratam da estruturação da análise multicritério de problemas de decisão pública e afirmam que o processo de estruturação deve resultar uma base operacional bem definida para ajudar o tomador de decisão a identificar os pontos de vista fundamentais e a operacionalizar os critérios para avaliar os impactos das opções e comparar os seus prós e contras. A estruturação dos modelos está relacionada às atividades de definição do problema, estrutura do modelo e análise dos impactos, sendo que a definição do problema é o passo fundamental para o êxodo do modelo.

Para a avaliação do processo de MCDA é preciso definir se o método será utilizado em problemas multiobjetivos ou multiatributos. De acordo com Malczewski (2006), os problemas de decisão multiatributo possuem um número limitado (finito) de alternativas pré-determinado. O problema multiobjetivo é contínuo no sentido que a melhor solução pode ser encontrada dentre as soluções viáveis. Os problemas multiatributos e multiobjetivos são referidos como problemas de decisão discretos e contínuos, respectivamente.

Segundo o Dodgson et al. (2009) as técnicas de MCDA geralmente fornecem uma relação explícita com sistema de peso para diferentes critérios. O papel principal das técnicas é lidar com as dificuldades que os humanos têm em tomar decisões que envolvem complexas e grandes quantidades de informações de forma consistente.

Ramos (2000) apresenta quatro métodos para a definição de pesos. Esses métodos são baseados no ordenamento de critérios; em escalas de pontos; distribuição de pontos; e comparação par a par. Os métodos baseados no ordenamento de critérios consistem no simples ordenamento dos critérios de acordo com a ordem de importância atribuída pelo tomador de decisão. Os métodos baseados em escalas de pontos atribuem pesos a critérios, a atribuição desses pesos é feita pela eleição de um número numa escala, após eleger os números para todos os critérios é possível fazer a normalização desses valores, o que resulta num conjunto de pesos. Nos métodos baseados na distribuição de pontos o tomador de decisão deve distribuir pelos diferentes critérios um conjunto de pontos, por exemplo, 100. Os quais devem ser distribuídos para cada critério, sendo que o critério de maior importância recebera a maior parcela do conjunto de 100 pontos e o de menor importância uma menor parcela. O método baseado na comparação de critérios par-a-par também é conhecido como o

processo de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP), baseia-se numa matriz quadrada $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios (na mesma ordem ao longo das linhas e ao longo das colunas), uma vez normalizados os *scores* dos critérios para um intervalo fixado estes já podem ser agregados de acordo com a regra de decisão.

As técnicas de análise de decisão multicritério, vêm sendo utilizadas por pesquisadores de diversas áreas de conhecimento e em diversos lugares do mundo. A escolha de um método em relação a outro varia bastante de acordo com os dados e informações disponíveis sobre determinado assunto e também com o problema a ser resolvido.

2.3.2 MCDA & SIG

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema computacional feito para armazenar e processar informação geográfica. São ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos, podem ser usados para diversas tarefas, como armazenar grandes quantidades de informação geográfica em bancos de dados, realizar operações analíticas e automatizar o processo de confecção de mapas (CÂMARA, DAVIS; MONTEIRO, 2001; GALATI, 2006; LONGLEY et al., 2013). O presente tópico tem como finalidade apresentar o uso integrado de MCDA e SIG, portanto, conceitos mais detalhados do uso do SIG, pode ser encontrado na literatura referida acima.

A literatura mostra que diferentes métodos de MCDA integrados a SIG têm sido aplicados aos estudos de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários de forma bastante expressiva. A Tabela 2.7 traz as referências consultadas e o método empregado, em seguida os trabalhos são brevemente descritos, ressaltando os diferentes métodos de MCDA.

Tabela 2.7 - Métodos de Análise de Decisão Multicritério

Métodos de MCDA	Referências
AHP	Sumathi et al. (2008)
	Sharifi et al. (2009)
	Guiqin et al. (2009)
	Sener et al. (2010)
	Vesillijeć et al. (2012)
	Kumar et al. (2013)
Lógica Booleana	Delgado et al. (2008)
	Nas et al. (2010)
AHP, SAW	Kontos et al. (2005)
	Eskandari et al. (2012)
Fuzzy	Chang et al. (2008)
AHP, WLC, OWA	Gbanie et al. (2012)
ANP, AHP	Aragonés-Beltrán et al. (2010)
AHP, OWA	Moeinaddini et al. (2010)
WLC, SCA, AHP	Gorsevski et al. (2012)
SAW	Yesilnacrar et al. (2012)

Sumathi, Natesan e Sarkar (2008) estudaram a implantação de um novo aterro sanitário, na região de Pondicherry no sul da Índia, usando MCDA e SIG. O método AHP foi empregado para indicar a importância relativa para cada variável. As ponderações de entrada para o método AHP foram feitas através do parecer de peritos da área e decisores políticos locais. Os autores destacaram a versatilidade do modelo, uma vez que o mesmo pode acomodar novas informações, a base de dados pode ser atualizada e o modelo ser empregado em estudos futuros.

Sharifi et al. (2009) empregaram o SIG para identificar potenciais áreas para localizar aterros de resíduos perigosos na província do Curdistão no Irã ocidental, a MCDA foi utilizada a fim de otimizar a ponderação das variáveis através do método AHP. O processo de tomada de decisão foi estruturado em duas fases de análise, começando com um estudo inicial seguido por uma avaliação detalhada de áreas adequadas candidatas através de uma abordagem MCDA guiada por um painel de especialistas no processo de seleção de áreas. Os autores enfatizaram a possibilidade de empregar um grande número de fatores através do uso integrado de MCDA e SIG.

Guiqin, Guoxue e Lijun (2009) calcularam o peso das variáveis usando AHP, através de um modelo de hierarquia para resolver o problema da seleção de áreas para aterro de resíduos

sólidos em Beijing na China. As variáveis foram classificadas de 1 (mais baixa adequação) a 5 (mais alta adequação). Os autores destacaram a importância de se considerar não apenas critérios ambientais, mas também critérios econômicos principalmente em países em desenvolvimento.

Sener et al. (2010) combinaram AHP com SIG para selecionar áreas adequadas para aterros sanitários na região de Konya, Turquia. Diversas variáveis foram analisadas tais como: geologia/ hidrogeologia, uso do solo, inclinação, altura, aspecto e distância de assentamentos, águas superficiais, estradas e áreas protegidas (ecológica, científica ou histórica). Os autores concluíram que para estudos de seleção de áreas, o SIG é uma ferramenta muito poderosa que pode proporcionar uma rápida avaliação da área de estudo, através dessa ferramenta é possível gerenciar e analisar grandes volumes de dados espacialmente a partir de fontes variadas, além disso, tem a capacidade de manipular e simular as restrições econômicas, ambientais, sociais, técnicas e políticas necessárias. Por outro lado, o AHP é uma ferramenta robusta para a solução de problemas complicados que podem ter interações e correlações entre os vários objetivos; portanto, a integração de SIG e métodos AHP fornece um mecanismo para explorar problemas complexos e fornecer *feedback* imediato para os decisores.

Vasilijeć et al. (2012) utilizaram SIG e AHP para a seleção de áreas adequadas para a implantação de aterros regionais na Servia, a qual possui uma estratégia de gerenciamento de resíduos para o período de 2010 a 2019 o que somado às diretrizes da União Europeia, resultam em rigorosas exigências na implantação de aterros. Dezesete fatores foram selecionados e divididos em fatores geo-natural, ambiental, social e econômico. Em seguida, esses fatores foram avaliados por *experts* de diferentes áreas, uma comparação par a par (AHP) foi utilizada para classificar os fatores de acordo com seu grau de adequabilidade, posteriormente o AHP foi aplicado novamente, resultando em *layers* espaciais com diferentes pesos, os quais foram combinados em um mapa de áreas adequadas. Esse mapa foi então sobreposto a um mapa de restrições, resultando em um mapa final de adequabilidade.

Kumar e Hassan (2013) utilizaram análise espacial juntamente com o método AHP para identificar um local adequado para aterro em uma região do Território da Capital Nacional de Deli na Índia. O estudo identificou seis locais potenciais, dos quais um foi proposto e recomendado como o local mais adequado. De acordo com os autores, SIG e AHP são ferramentas capazes de lidar com enorme quantidade de dados espaciais e não espaciais, pois

são ferramentas muito importantes para o estudo de seleção de áreas. Tais estudos dependem de um conjunto de fatores sociais, econômicos e ambientais, ou seja, consiste na comparação de um número muito grande de indicadores.

Delgado et al. (2008) apresentaram três modelos de apoio à decisão espacial (lógica booleana, evidência binária e índice de sobreposição de mapas de múltiplas classes), o estudo é realizado na bacia do Lago Cuitzeo, no México, com o objetivo de identificar áreas que estejam em conformidade com as normas ambientais e que são acessíveis por no mínimo dois municípios. Os três modelos diferem em sua complexidade e restrições, segundo os autores o modelo de lógica booleana é mais fácil de aplicar e mais restritivo do que os outros modelos, porque se baseia na avaliação de atributos individuais, por outro lado, os dados binários e os métodos de índice de sobreposição são relativamente mais complexos, porque requerem atributos de ponderação.

Nas et al. (2010) identificaram áreas candidatas para a implantação do aterro na cidade de Cumra, Condado de Konya, Turquia. Os locais foram determinados por meio da integração de SIG e lógica booleana. As metodologias utilizadas são normalmente baseadas na composição de análise de adequabilidade usando sobreposições de mapa e extensões para incluir análise estatística. Dentre os modelos de integração com SIG, o tipo mais simples e mais conhecido é baseado em operação booleana. Ela envolve a combinação lógica de mapas binários resultantes da aplicação de operadores condicionais. O resultado é um mapa binário indicando se o local é adequado ou não.

Kontos, Komilis e Halvadakis (2005) propuseram um método que consiste no desenvolvimento de um banco de dados digital em SIG, determinação da avaliação dos critérios/subcritérios e formação da estrutura hierárquica do problema multicritério, implementação do AHP para calcular os pesos dos critérios/subcritérios de acordo com a relativa importância, implementação do Método *Simple Additive Weighting* (SAW) para estimar o índices de adequabilidade, e por fim, implementação de um processo de agrupamento espacial para revelar as áreas mais adequadas. A aplicação da metodologia se deu na ilha de Lemnos, ao Norte do Mar Egeu, Grécia. Os critérios de avaliação foram desenvolvidos de acordo com a legislação grega e da União Europeia, concluiu-se que a metodologia de tomada de decisão em plataforma SIG é flexível na medida em que a adaptação dos critérios para outras áreas é factível.

Para Eskandari, Homaei e Mahmodi (2012) a tomada de decisão é construída com uma árvore de critérios de avaliação, na qual um algoritmo foi proposto para obter a árvore de decisão com restrições e variáveis. Um banco de dados em SIG foi desenvolvido com base nas variáveis indicadas e áreas *buffers* ou áreas de restrições foram construídas de acordo com modelo de lógica booleana na árvore de decisão. As ponderações dos critérios econômicos, socioculturais e ambientais foram realizadas por AHP. Após essa etapa, um valor índice composto para cada pixel foi calculado através da aplicação do SAW, que também foi utilizado para a análise de sensibilidade.

Chang, Parvathinathan e Breeden (2008) combinaram SIG com *Fuzzy Multicriteria Decision-Making* (FMCDM) para a implantação de aterro em uma região urbana de rápido crescimento no sul do Texas. Empregou-se uma análise de duas fases para formar um Sistema Espacial de Suporte à Decisão (SESD). A primeira fase usou mapas temáticos em SIG em conjunto com variáveis ambientais, biofísicas, ecológicas e socioeconômicas para eliminar as áreas inadequadas. Na segunda fase o método FMCDM foi utilizado para identificar as áreas mais adequadas usando informações fornecidas por *experts* regionais com referencia a 5 critérios de escolha.

Gbanie et al. (2012) utilizaram SIG e MCDA para realizar a modelagem de localização de aterros no sul de Serra Leoa, onde existem muitos conflitos sobre a localização de aterros sanitários. O mapa de restrições foi desenvolvido utilizando lógica booleana, o mapa de fatores que descreve a variação da adequabilidade da área foi preparado e padronizado utilizando técnicas de lógica fuzzy, os fatores foram divididos em três mapas de critérios, que foram combinados para obter um *index* de adequabilidade para a localização aterros sanitários utilizando técnicas *Weighted Linear Combination* (WLC) e *Ordered Weighted Averaging* (OWA), cada um desses mapas foram rasterizados e posteriormente foram padronizados utilizando o modulo fuzzy do IDRISI. Os pesos para as variáveis consideradas na análise foram obtidos pelo emprego da AHP.

Aragonés-Beltrán et al. (2010) aplicaram o *Analytic Network Process* (ANP) para selecionar o melhor local para a construção de um aterro de RSU na área metropolitana de Valência – Espanha. As influências entre os elementos da rede foram identificadas e analisadas utilizando dois modelos ANP diferentes: um modelo de hierarquia (que considera o AHP como um caso particular da ANP) e um modelo baseado em rede, os resultados obtidos em cada modelo foram comparados e analisados.

Moeinaddini et al. (2010) avaliaram a adequação de locais para a implantação de aterro sanitário em Karaj, Irã. Usando o Método *Weighted Linear Combination* (WLC) e *Spatial Cluster Analysis* (SCA) foram identificados locais adequados para a destinação de resíduos sólidos urbanos para um período de 20 anos. O AHP foi utilizado para a identificação da alternativa preferida para a implantação do aterro. Destacou-se que as principais vantagens da AHP são: a relativa facilidade de lidar com múltiplos critérios, de fácil compreensão e tratamento eficaz dos dados qualitativos e quantitativos. Os autores recomendam que o WLC deve ser usado apenas para a identificação de alternativas e o AHP é usado para definição de prioridades. Sugere-se também, que o procedimento seja empregado para outras regiões semelhantes.

Gorsevski et al. (2012) apresentaram uma abordagem da análise multicritérios com base em SIG para avaliar a aptidão para a escolha do local do aterro na Região Polog, Macedônia. O quadro de decisão multicritério considera fatores ambientais e econômicos que são padronizados por funções de pertinência fuzzy e combinadas pela integração das técnicas AHP e OWA. O AHP foi utilizado para o levantamento de pesos de atributos, enquanto o OWA foi usado para gerar alternativas de decisão para tratar a incerteza associada com a interação entre os vários critérios.

Finalmente, Yesilnacar et al. (2012) empregaram o método SAW a fim de utilizar a contribuição de especialistas para o problema da escolha do local para implantação de aterros em Urfa, sudeste da Turquia. Antes da aplicação do método SAW, as áreas restritas por regras, regulamentos e restrições físicas foram excluídas. De acordo com os autores, a eficiente análise dos dados através de MCDA junto com a facilidade em reprodutibilidade e velocidade de SIG superam os métodos convencionais.

Dessa forma, após a análise dos estudos previamente descritos e considerando os resultados positivos quanto ao emprego do método AHP, a presente pesquisa adotará tal método para a ponderação das variáveis conforme será apresentado mais adiante.

2.3.3 Problemas de Localização & SIG

Os problemas de localização tratam essencialmente sobre as decisões relativas à quantidade e localização ideal de um ou mais pontos de distribuição de produtos e serviços, ou seja,

localização de pontos de oferta, mediante a necessidade de suprir, da melhor forma possível, o atendimento a um conjunto de pontos de demanda, distribuídos em um espaço geográfico.

O problema de localização de instalações pode ser resolvido por modelagem matemática e/ou com o uso de SIG que integram alguns algoritmos. Segundo Lorena et al. (2001), Mapa, Lima e Mendes (2006) e Mapa e Lima (2012), o uso combinado desses métodos podem trazer grandes ganhos, uma vez que um modelo matemático pode trazer soluções ótimas de localização, porém pode passar a ser inviável nas resoluções de problemas de maior porte.

Murray (2010) apresentou os avanços na ciência de localização e a importante contribuição do SIG como uma ferramenta de análise integrada. O autor conclui que o SIG é importante para conhecer e sumarizar as relações espaciais, bem como oferecer o potencial de explorar esse conhecimento para estruturar soluções técnicas e novos modelos de localização.

Tendo em vista a dificuldade de determinar a solução ótima para problemas de localização, utilizaram-se heurísticas que permitiam obter soluções aproximadas num tempo computacionalmente aceitável. A vantagem de utilizar a tecnologia SIG estava em poder representar as soluções obtidas sobre a base cartográfica de uma determinada área, possibilitando visualizar os circuitos num ambiente próximo do real. (SANTOS E RODRIGUES, 2003).

Arakaki e Lorena (2006) abordaram a heurística de localização-alocação (HLA) que se baseia na formação de agrupamentos (*clusters*) e na possibilidade de melhorá-los em relação a algum objetivo.

Visto a posição de alguns autores em relação ao uso integrado de SIG e problemas de localização, são apresentados, a seguir, estudos sobre a localização de aterros sanitários a serem compartilhados por um conjunto de municípios.

Naruo (2003) considerou duas situações para o problema de localização de aterro sanitário. Essas situações referem-se à existência ou não, de Estações de Transferência (ET) no sistema e o número de aterro. Quando existe ET considera-se que o resíduo é consolidado e transportado de uma só vez em caminhões maiores até o aterro sanitário, independente da produção de resíduos do município. Já no caso de não existir a ET, municípios com grande produção de resíduos precisariam realizar maior número de viagens até o aterro sanitário uma vez que esse transporte seria feito pelos próprios caminhões da coleta. Neste caso, é viável

que o aterro sanitário esteja próximo a esses municípios, sendo assim, os municípios com maior produção de RS receberiam um peso maior que os outros na análise de localização. O parâmetro quantidade de aterros foi utilizado para criar as situações diversas, que levou a identificação do número ideal de aterros, com ou sem ET. O software TransCAD® foi utilizado para realizar a localização dos aterros através da ferramenta “*Facility Location*”. O autor conclui que a utilização da ferramenta SIG-T TransCAD foi satisfatória, sendo uma ferramenta de apoio a decisão espacial útil no caso de analisar o sistema de destinação consorciada de RSU.

Dalmas (2008) utilizou uma análise de rede com ênfase às menores rotas com origem nas áreas centrais dos municípios e destino nas áreas classificadas como aptas para a disposição final. O trabalho foi realizado utilizando a ferramenta “Network” do software ArcMap (versão 9.2), módulo que permite fazer uma busca por determinadas áreas a partir de um local específico. A área de serviço engloba os vetores de uma malha viária na qual, a partir de diferentes intervalos de distância, cria-se um raio de busca polígono ao redor da origem. O objetivo era que as maiores áreas aptas fossem identificadas, pois essas teriam maior capacidade de receber os resíduos uma vez que o aterro sanitário seria destinado a receber RSU de dois ou mais municípios. A imagem resultante das áreas aptas foi vetorizada, resultando em diversos polígonos, que foram classificados de acordo com as suas áreas e convertidos em arquivos de pontos, que continham em suas tabelas de atributos as áreas de cada polígono. Baseando-se na média diária de produção de RSU por habitantes na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 11 e no cálculo de dimensionamento de um aterro, foram realizadas operações de análise de rede para quatro diferentes tamanho de aterros: até 10.000 habitantes - raio de busca de 10 km, até 30.000 habitantes - raio de busca de 15 km, até 50.000 habitantes - raio de busca de 25km, mais de 50.000 habitantes raio de busca de 50km. O autor conclui que as técnicas de geoprocessamento empregadas mostram-se adequadas aos estudos de gestão de resíduos sólidos, pois agregaram diferentes fatores e pouparam custos nas etapas iniciais.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 Divisões do Estado de São Paulo

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b) adotou para fins de exposição e análise dos dados referentes a resíduos sólidos, três diferentes recortes regionais, quer pelas características intrínsecas a cada categoria de resíduos, quer pelos vários processos de planejamento a serem orientados pelo Plano Estadual de RS. Dentre as divisões regionais adotadas estão: as Regiões Administrativas (RA), criadas pelo IBGE; as Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas, instituídas no Estado por Lei complementar; e as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) instituídas legalmente pelo Plano Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Dessa forma o Estado encontra-se dividido em 15 RA (Figura 3.1), isoladamente possui 4 regiões metropolitanas que abrangem apenas uma parte do mesmo (Figura 3.2) e 22 UGRHI, cada qual composta por municípios contíguos geograficamente, tendo similaridades econômicas e ambientais (Figura 3.3).

Figura 3.1- Regiões Administrativas (RA)

Fonte- São Paulo (Estado) (2014b)

Figura 3.2- Regiões Metropolitanas

Fonte- São Paulo (Estado) (2014b)

Figura 3.3- Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI)

Fonte- São Paulo (Estado) (2014b)

Territorialmente, com o objetivo de propor formas de gestão descentralizada, o estado de São Paulo, por meio de sua Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual nº 7.663 de 1991), adotou as bacias hidrográficas como unidades de gestão e planejamento. Dessa forma, foram discutidas e aprovadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 22 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), que integram a atual divisão hidrográfica do Estado. De acordo com o artigo 20 da mesma Lei, as UGRHI constituem unidades territoriais “com dimensões e características que permitam e justifiquem o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos” e, em geral, são formadas por partes de bacias hidrográficas ou por um conjunto delas (SÃO PAULO (ESTADO), 1991).

A Figura 3.4 mostra a divisão hidrográfica do Estado, caracterizando cada UGRHI quanto à sua vocação econômica, conforme definido na Lei Estadual nº 9.034 de 1994, que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b). Posterior a Política Estadual foi publicada a Lei Federal nº 9.433 de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Figura 3.4- UGRHI e vocação econômica

Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014b)

3.2 A divisão adotada

Dentre as divisões regionais apresentadas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo para o planejamento da gestão integrada dos resíduos sólidos, o presente trabalho adotou como unidade territorial as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI).

De acordo com Santos (2004), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação universal. No Brasil a seleção da bacia hidrográfica como área de trabalho para avaliação ambiental também é assumida em diversos estudos acadêmicos, planejamentos oficiais e atos legais. Geralmente, o tamanho da bacia hidrográfica tem influência sobre os resultados, dessa forma, bacias hidrográficas menores facilitam o planejamento, além disso, pode-se também, subdividir uma bacia hidrográfica em unidades menores.

O Estado de São Paulo possui 7 regiões hidrográficas subdivididas em 22 UGRHI. A divisão do estado em regiões hidrográficas e suas respectivas UGRHI pode ser observada na Figura 3.5

Figura 3.5 - Bacias hidrográficas do Estado de São Paulo

Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014a)

Buscando realizar um estudo mais detalhado, no presente trabalho optou-se por analisar apenas a UGRHI 5. A justificativa para definição desta área dá-se pela disponibilidade e acesso facilitado a bancos de dados espaciais e por situar numa região com economia de destaque nacional, cujos principais acessos rodoviários são as Rodovias dos Bandeirantes (SP-348), Anhanguera (SP-303), Santos Dumont (SP-75), Dom Pedro I (SP-65) e Fernão Dias (BR-381).

A Figura 3.6 ilustra a delimitação da UGRHI 5, os municípios que a compõe e as UGRHI limítrofes.

Figura 3.6- Área de estudo (UGRHI – 5 - PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAÍ)

Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014a)

Localizada a leste do Estado de São Paulo, a UGRHI 5 encontra-se na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê. Limita-se ao norte com a UGRHI 9, da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, a leste com o Estado de Minas Gerais, a sudeste com a UGRHI 2, da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, ao sul com a UGRHI 6, da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, a oeste com a UGRHI 10, da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê e, a noroeste, com a UGRHI 13, da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré.

Considerada uma das economias mais importantes do Brasil, a UGRHI 5, que possui vocação industrial, representa 7% do PIB nacional, abrange 57 municípios, que ocupam 14.178 km², totalizando 5.501.671⁷ milhões de habitantes (12,4% da população do estado de São Paulo, ocupando, assim, o segundo lugar dentre as UGRHI mais populosas (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

⁷ IBGE CIDADES – população estimada 2014. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030>. Acesso em 04/07/2015.

De acordo com a Figura 3.7, a UGRHI 5 possui uma das maiores densidades demográficas, ficando atrás apenas da UGRHI 6, unidade que abrange a cidade e a região metropolitana de São Paulo.

Figura 3.7- Densidade demográfica dos municípios do Estado de São Paulo.
Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014a)

3.3 Panorama da gestão de RSU na UGRHI 5

A partir dos índices estimativos de geração per capita de RSU, adotados em função das faixas populacionais, publicado no Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b), e adotado também no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos (CETESB, 2015a), é possível calcular a quantidade de RSU gerado diariamente por cada município. A Tabela 3.1 apresenta os índices por faixas populacionais.

Tabela 3.1 - Índices estimativos de geração per capita de resíduos sólidos urbanos, adotados em função das faixas populacionais.

População (hab)	Geração (kg/hab.dia)
Até 25.000	0,7
De 25.001 a 100.000	0,8
de 100.001 a 500.00	0,9
Maior que 500.000	1,1
Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014b)	

A Tabela 3.2 apresenta a geração de RSU gerada por município da UGRHI 5 bem como o local de destino dos resíduos. Os municípios cujo destino não está identificado significa que deposita o seu RSU no próprio limite municipal. As informações sobre o destino dos RSU foram obtidas pelo Inventário Estadual de RSU (CETESB, 2015a).

Tabela 3.2- Geração e destino do RSU da UGRHI 5

Municípios	Geração de RSU (t/hab.dia)	Destino do RSU
Águas de São Pedro	2.15	São Pedro - AP
Americana	203.32	Paulínia - AP
Amparo	43.95	Paulínia - AP
Analândia	2.60	Guatapar - AP
Artur Nogueira	35.74	Paulínia - AP
Atibaia	111.32	São Paulo - AP
Bom Jesus dos Perdões	13.89	Caieiras- AP
Bragança Paulista	138.60	Paulínia - AP
Campinas	1,248.24	Paulínia - AP
Campo Limpo Paulista	63.99	Caieiras- AP
Capivari	39.73	Paulínia - AP
Charqueada	10.33	
Cordeirópolis	14.43	
Corumbat	1.52	
Cosmópolis	48.76	Paulínia - AP
Elias Fausto	9.43	Indaiatuba - AP
Holambra	6.61	Paulínia - AP
Hortolândia	191.27	Paulínia - AP
Indaiatuba	201.89	Indaiatuba - AP
Ipeúna	4.08	São Pedro - AP
Iracempolis	15.21	
Itatiba	75.39	Paulínia - AP
Itupeva	36.56	Paulínia - AP
Jaguariúna	39.40	Paulínia - AP
Jarinu	14.56	

Continua.

Conclusão.

Municípios	Geração de RSU (t/hab.dia)	Destino do RSU
Joanópolis	8.83	
Jundiaí	342.76	Santana do Parnaíba - AP
Limeira	256.82	
Louveira	32.92	Paulínia - AP
Mombuca	1.97	Paulínia - AP
Monte Alegre do Sul	3.07	Paulínia - AP
Monte Mor	40.92	Indaiatuba - AP
Morungaba	7.64	Paulínia - AP
Nazaré Paulista	10.46	São Paulo - AP
Nova Odessa	44.08	Paulínia - AP
Paulínia	76.11	Paulínia - AP
Pedra Bela	1.05	
Pedreira	35.74	
Pinhalzinho	4.91	Paulínia - AP
Piracaia	21.23	São Paulo - AP
Piracicaba	342.06	Paulínia - AP
Rafard	5.54	
Rio Claro	174.23	
Rio das Pedras	25.16	Rio das Pedras
Saltinho	4.51	Rio das Pedras
Salto	101.10	
Santa Bárbara d'Oeste	168.97	
Santa Gertrudes	16.81	São Pedro - AP
Santa Maria da Serra	3.60	
Santo Antônio de Posse	14.16	Paulínia - AP
São Pedro	22.83	São Pedro - AP
Sumaré	233.30	Paulínia - AP
Tuiuti	2.26	Paulínia - AP
Valinhos	101.33	Paulínia - AP
Vargem	3.41	
Várzea Paulista	103.86	Caieiras- AP
Vinhedo	55.18	Paulínia - AP
TOTAL	4.839.79	

*Aterro Privado (AP)

Fonte: Adaptado CETESB (2015a)

Ainda, de acordo com a Tabela 3.2 pode-se calcular que o aterro particular de Paulínia é responsável por receber 62,5% dos RSU diários de 25, dos 57 municípios da UGRHI 5, 8 deles, ou seja, 13,8% dos RSU são enviados para aterros em municípios localizados fora do limite da UGRHI 5. Outros 19 municípios, incluindo Paulínia, depositam os RSU no seu

próprio território e outros 6 depositam em municípios pertencentes a UGRHI 5. Os municípios da UGRHI 5, geram uma média de 4.839,79 toneladas de RSU por dia. O município de Campinas, maior município da UGRHI, é responsável por gerar 26% do total dos resíduos (1.248,24 t/dia). Outros 42 municípios da UGRHI geram entre 1,05 a 100 t/d de resíduos, o que representa um total de 19% dos resíduos gerados na UGRHI por dia (920,72 t/dia), 14 municípios geram entre 100 e 500 t/d de resíduos, um percentual de 55% (2670,83 t/dia), ou seja, 73% dos municípios da UGRHI geram quantidades de RSU inferiores a 100 t/dia. O município de Campinas, gera mais RSU que 42 municípios juntos. A Figura 3.8 traz a localização dos municípios na UGRHI e suas respectivas faixas de geração de RSU (t/dia)

Figura 3.8- Faixas de geração de RSU (t/dia)

De acordo com o Inventário Estadual de RSU (CETESB, 2015a), o Índice de Qualidade do Aterro de Resíduo (IQR) nova proposta, índice que avalia diversos itens com informações sobre as principais características locais, estruturais e operacionais das instalações receptoras de RSU, todos os municípios da UGRHI 5 estão classificados como adequados. A Figura 3.9 ilustra a situação dos municípios pertencentes a UGRHI 5.

Figura 3.9- Mapa dos municípios com a indicação do Enquadramento no IQR nova proposta.

Fonte: CETESB (2015a)

Com base nas planilhas utilizadas no cálculo dos índices de IQR e IQR Valas (CETESB, 2015a) foi possível realizar um levantamento da vida útil dos aterros de destino dos RSU dos municípios pertencentes a UGRHI 5 bem como o tipo de infraestrutura, capacidade licenciada em t/dia e a quantidade disposta do município em t/dia (média anual). No total são 22 aterros sanitários de destino de RSU, 18 encontram-se dentro do limite territorial da UGRHI 5 e 3 encontram-se fora, são eles, Caieiras, Corumbataí, Guataporá e Santana do Parnaíba. O aterro sanitário de Paulínia, maior aterro da UGRHI, possui vida útil inferior a 2 anos.(Tabela 3.3).

Tabela 3.3-Vida útil e capacidade dos aterros receptores de RSU dos municípios pertencentes a UGRHI 5.

Município	Vida útil	Tipo	Capacidade licenciada em t/dia (aterro regional)	Quantidade disposta do município em t/dia (média anual)
Caieiras	2 < x <= 5 ANOS		7500	
Charqueada	> 5 ANOS	Valas		5.5
Cordeirópolis	<= 2 ANOS	Valas		14
Corumbataí	> 5 ANOS	Valas	87	
Iracemápolis	2 < x <= 5 anos	Valas		14
Guataporã	> 5 ANOS		3000	
Indaiatuba	> 5 ANOS		250	
Jarinu	2 < x <= 5 anos	Valas	11	11
Joanópolis	<= 2 ANOS	Valas	3.7	3.7
	2 < x <= 5			
Limeira	ANOS		137	
Paulínia	<= 2 ANOS		5000	
Pedra Bela	<= 2 ANOS	Valas	2	2
Pedreira	> 5 ANOS		22	
Rafard	<= 2 ANOS	Valas	150	
Rio Claro	> 5 ANOS		203	
Rio das Pedras	> 5 ANOS		200	
Salto	> 5 ANOS		80	
Santa Barbara d'Oeste	<= 2 ANOS		166	
Santa Maria da Serra	<= 2 ANOS	Valas	2	
Santana do Parnaíba	> 5 ANOS		750	
São Pedro	<= 2 ANOS		150	
Vargem	<= 2 ANOS	Valas	5	5

Fonte: Adaptado CETESB (2015a)

4. SELEÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A LOCALIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO SIG E ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A complexidade em selecionar áreas para a implantação de aterros sanitários é senso comum na literatura sobre o assunto. Tal complexidade se dá pelos inúmeros fatores que devem ser considerados e, sobretudo, pela necessidade de ponderar e avaliar o grau de importância que será conferido a cada fator.

A escolha de locais candidatos à implantação de sistemas de tratamento de RSU, em que se inclui o aterro sanitário, é o obstáculo mais difícil de ultrapassar no desenvolvimento dessas infraestruturas sanitárias (RUSSO, 2003).

De acordo com o Instituto Nacional de Resíduos (INR), em nenhuma região existe uma “área perfeita” que satisfaça simultaneamente, e no mais elevado grau, todos os requisitos para a implantação de um aterro sanitário. Em regra, existem lugares inadequados e adequados, e, dentre os lugares adequados podem existir uns que sejam mais adequados que outros. No geral, todos os locais adequados são diferentes uns dos outros, com vantagens e desvantagens, o que geralmente torna a análise comparativa uma matéria de julgamento (INR, 2002).

Uma área adequada significa menores riscos ao meio ambiente e à saúde pública, mas, fundamentalmente, significa menores gastos com preparo, operação e encerramento do aterro (VILHENA, 2010).

Outro aspecto a considerar é a rejeição da comunidade na implantação de infraestruturas não desejadas, como é o caso dos locais de tratamento e disposição final de RSU. Esse tipo de comportamento é conhecido mundialmente pela expressão *Not In My Back Yard* (NIMBY), do inglês “não no meu quintal”.

Para Piedade e Aguiar (2010) a escolha do terreno para implantação de um aterro sanitário revela-se bastante complexa, na medida em que é difícil encontrar um local que reúna todos os requisitos para a construção e operação deste tipo de infraestrutura. A avaliação de um local deve basear-se na análise dos aspectos socioeconômicos e ambientais, e na importância relativa que lhes é atribuída. Por outro lado, a aptidão de uma área não deve ser julgada exclusivamente em função das condições naturais e de fatores socioeconômicos, e sim, em função das tecnologias e das soluções de projeto possíveis, capazes de dar respostas seguras aos problemas ambientais decorrentes dos aspectos desfavoráveis da área (INR, 2002).

Atualmente, os materiais geossintéticos disponíveis, tecnologia e legislação, permitem antever recomendações de distâncias de proteção cada vez menores, dentro de limites cautelosos de importância da preservação que se deseja (RUSSO, 2003).

As diferentes fases da vida do aterro, também são fatores fundamentais para a escolha do local. Dentre as fases pode-se destacar a de construção e exploração do aterro, a de manutenção e a de após encerramento (PIEADADE E AGUIAR, 2010).

Os trabalhos de viabilização exigem, assim, a compatibilização de vários fatores, buscando-se o equilíbrio entre aspectos sociais, alterações no meio ambiente e custos envolvidos (VILHENA, 2010).

Nesse sentido, os estudos voltados para a seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários vêm sendo desenvolvidos integrando técnicas de Análise de Decisão Multicritério (MCDA) e Sistema de Informação Geográfica (SIG). Em geral, as aplicações iniciam com um processo de definição das variáveis que posteriormente são agrupados em de critérios: ambiental, social e econômico. Posteriormente essas variáveis passam por um processo de ranqueamento com o objetivo de ordenar o grau de importância de cada uma. O processo de ranqueamento das variáveis é feito através de MCDA. Existem algumas variáveis que são usadas como fatores de restrição, ou seja, áreas inadequadas que obrigatoriamente não devem ser alteradas seguindo imposições por regulamentação legal. Essas variáveis não devem incluir nenhuma taxa de adequação ou peso, pois é uma variável considerada como fator de restrição, são especificadas como áreas inapropriadas e devem ser excluídas do escopo do trabalho.

Pontuais críticas aos processos de análise multicritério integrado a SIG são discutidas. De acordo com Korucu e Erdagi (2012), os problemas de seleção de locais para a disposição final

de RSU resolvidos com análise multicritério e uso integrado de SIG tem sido útil, mas tem causado sérios problemas sociais e ambientais. Dessa forma, os autores fazem uma crítica estrutural do sistema, e ressaltam a importância de se analisar os critérios em grupos: critérios de segurança ecológica; critérios de segurança e saúde pública; critérios econômicos; e critérios sociais.

4.1 Etapas do estudo

Como visto no tópico anterior, para os estudos sobre a seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários existem condicionantes técnicas e legais. Essas condicionantes podem ser de caráter impeditivo (restrição) ou orientativo.

As condicionantes de caráter orientativo referem-se às situações que são contornáveis, ou seja, são passíveis de medidas mitigatórias alcançadas com obras de engenharia como, por exemplo, casos em que o aterro sanitário é uma infraestrutura de utilidade pública muitas exceções são incorporadas à legislação.

As condicionantes de caráter impeditivo, também chamadas de condicionantes de restrição, são aquelas impostas na legislação por se tratar de uma área que não possui características que garantam que o empreendimento não provocará impactos ambientais e sociais significativos.

No presente trabalho essas condicionantes são traduzidas em variáveis. As condicionantes de caráter impeditivo foram chamadas de variáveis de restrição e resultaram no mapa de restrição. As condicionantes de caráter orientativo foram chamadas de variáveis de adequação e resultaram no mapa de adequação. Ao final, esses dois mapas são sobrepostos e resultaram no mapa final de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários.

Dessa forma, o presente trabalho foi estruturado de acordo com as seguintes etapas: procedimentos preliminares que envolvem a definição da área de estudo e escala de trabalho, seleção e classificação das variáveis dos critérios, análise multicritério através da técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e operação em plataforma SIG, a qual inclui o tratamento dos dados espaciais e o mapa final de adequação. O detalhamento dessas etapas é ilustrado na Figura 4.1e nos tópicos seguintes.

Figura 4.1- Representação gráfica metodológica das etapas do estudo

4.1.1. Etapa 1: Procedimentos preliminares

Os procedimentos preliminares constituem-se na definição da área de estudo e escada de trabalho. A área de estudo desta pesquisa é a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba/Capivari/Jundiaí (UGRHI 5). A justificativa para definição da área dá-se pela disponibilidade e acesso facilitado a banco de dados espaciais e pela economia da região, conforme detalhado no Capítulo 3. Por conta da diversidade de dados necessários e, frente à dificuldade de trabalho em uma única escala cartográfica, uma vez que o presente estudo requer uma grande quantidade de informações, admitiu-se, como escala final, a de menor detalhamento oriunda dos mapeamentos intermediários e das bases cartográficas utilizadas. As escalas das bases cartográficas variam em um intervalo de 1:25.000 (maior detalhamento) 1:500.000 (menor detalhamento).

4.1.2 Etapa 2: Seleção e classificação das variáveis

Na bibliografia, estudos direcionados ao estabelecimento de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários são baseados, via de regra, na seleção de variáveis condizentes ao assunto para análise da região e definição de critérios. Para o presente trabalho, foram consultadas publicações referentes ao tema para identificação das principais considerações acerca das variáveis de maior relevância em tais estudos. A seleção das fontes consultadas baseou-se na data de publicação das pesquisas, relevância da aplicação, experiência dos especialistas na área e objetivos propostos pelo estudo. Sobretudo, buscou-se identificar as variáveis apontadas em normas brasileiras como a ABNT NBR 13.896 de 1997 e estudos realizados pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Assim, através da síntese apresentada na Figura 4.2 foi possível identificar as variáveis mais relevantes utilizadas na seleção de áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários.

De acordo com o levantamento, foi possível identificar 11 variáveis de maior relevância. Para o cenário nacional, duas outras variáveis foram identificadas como de grande relevância, são elas: as áreas de produção mineral gerenciadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e os sítios arqueológicos que para o Estado de São Paulo são coordenados pelo CONDEPHAAT.

De acordo com o Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b), no caso das áreas de produção mineral, consideraram-se como áreas de caráter impeditivo, aquelas classificadas como áreas de concessão de lavras e lavra garimpeira. Os sítios arqueológicos, também possuem caráter impeditivo, no entanto, não foram computados nessa fase do trabalho por falta de dados georreferenciados para a área de estudo. Portanto, estudos microscópicos devem ser elaborados para a efetiva implantação dos aterros sanitários.

Referência	VARIÁVEIS											Outros
	Vulnerabilidade de aquíferos	Classe de solo	Distância de recursos hídricos	Tipo de vegetação	Uso e ocupação do solo	Unidade de conservação	Proximidade a centros urbanos	Declividade	Proximidade dos centros geradores de RSU	Proximidade de rodovias	Distância de aeródromos	
Vasiljevic et al., 2012												Ventos, fraturas e falhas, área de materiais ferrosos, proximidade de infraestruturas, sismos, restrições de proximidade de limite estadual, rico de erosão e inundação.
Gbanie et al., 2012												Ventos, aceitação da comunidade, preço da terra.
Chang et al. (2008)												-
Montanô et al., 2012												Ventos, estrutura fundiária, impacto visual, vida útil.
Delgado et al., 2008												Falhas geológicas, proximidade a rede elétrica, disponibilidade de material de cobertura, vida útil, drenagem das águas pluviais.
Aragones et al., 2010												Proximidade a rede elétrica, impacto visual.
Delgado et al., 2008												-
Kontus et al., 2005												Ventos, sítios arqueológicos, impacto visual.
Eskandari et al., 2012												Ventos, fraturas e falhas, sítios arqueológicos, existência de infraestrutura, sismos, vida útil, risco de inundação.
ABNT NBR 13.896/97												Vida útil
SMA, 2014b												Legislação de área de proteção de mananciais, Polígonos do Departamento Nacional Produção Mineral, Zoneamento Ecológico, áreas tombadas pelo CONDEPHAAT.
Monteiro, 2001												Proximidade a rede elétrica, aceitação da comunidade, preço da área, vida útil, extensão da bacia de drenagem, disponibilidade de material de cobertura, acesso ao local com baixa densidade populacional.

Figura 4.2 - Principais variáveis e referências consultadas.

As variáveis selecionados foram agrupados em 3 grupos de critérios: ambiental, social e econômico. O grupo de critério ambiental está relacionado a fatores que possam causar impacto ao meio ambiental ou, as condições físicas do local. O grupo de critério social está relacionado a fatores que possam interferir na segurança e bem-estar da população que vive próximo da área ou frequentam locais nas proximidades. O econômico está relacionado ao custo de instalação do aterro, ou seja, a proximidade de infraestruturas disponíveis, topografia do terreno, além dos custos de transportes relacionados à distância aos polos geradores de RSU e o tipo de acesso ao aterro sanitário. A Tabela 4.1 apresenta os critérios e suas respectivas variáveis.

Tabela 4.1-Grupos de critérios

Crítérios	Variáveis
Ambiental	Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição
	Classe de Solo
	Distância de Recursos Hídricos
	Tipo de Vegetação
	Uso e ocupação do Solo
	Unidade de Conservação
Social	Distância dos centros urbanos
	Distância de Aeródromos
Econômico	Declividade do Terreno
	Proximidade dos centros geradores de RSU
	Proximidade das rodovias

A Tabela 4.2 traz a descrição das variáveis dos critérios ambientais, sociais e econômicos, bem como as referências consultadas para a definição dos intervalos de classificação.

Tabela 4.2 - Descrição das variáveis selecionadas e referências consultadas.

Variáveis	Descrição	Referências
Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição	A vulnerabilidade de um aquífero expressa sua maior ou menor suscetibilidade de ser afetado por uma carga poluidora. O mapa baseou-se no método proposto por Foster & Hirata (1988), no qual são atribuídos valores para três parâmetros físicos: ocorrência do aquífero, tipo litológico e profundidade do nível de água.	ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região.
Classe de solo	Delimitação das unidades Pedológicas do Estado de São Paulo apresenta a descrição dos solos identificados no mapa de solos (Brasil, 1960), a legenda foi estabelecida levando em conta a publicação do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SBCS) (Oliveira, 1999).	ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) Geologia e tipos de solos existentes - tais indicações são importantes na determinação da capacidade de depuração do solo e da velocidade de infiltração. Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10-6 cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m
Distância de recursos hídricos	Distâncias de curso d'água, lagos, lagoas, represas.	ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) recursos hídricos - deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso de água.
Tipo de vegetação	Floresta estacional: Floresta estacional em contato savana/Floresta estacional; Floresta estacional semidecidual; Floresta ombrófila: Floresta ombrófila densa altomontana; Floresta ombrófila densa montana; Floresta ombrófila em contato savana/floresta ombrófila; Formação arbórea/arbustiva-herbácea em região de várzea; Savana; Vegetação secundária da floresta estacional: vegetação secundária da floresta estacional em contato savana/floresta estacional; vegetação secundária da floresta estacional semidecidual; Vegetação secundária da floresta ombrófila: vegetação secundária da floresta ombrófila densa altomontana; vegetação secundária da floresta ombrófila densa montana; vegetação secundária da floresta ombrófila em contato savana/floresta ombrófila.	Inventário Florestal 2010

Continua.

Continuação.

Variáveis	Descrição	Referências
Uso e ocupação do solo	<p>Superfícies artificiais: área edificada (metrópoles, cidades, vilas e áreas de rodovias, incluindo áreas residenciais, comerciais e de serviços), loteamento, espaço verde urbano, grande equipamento, extração mineral. Áreas agrosilvopastoris: pastagem, cultura perene, cultura semiperene, cultura temporária, reflorestamento. Espaços abertos com pouco ou nenhuma cobertura vegetal: Solo exposto (áreas de intervenção antrópicas terraplanadas ou aradas; áreas de transição de uso ou uma fase intermediária do mesmo uso; áreas onde processos erosivos expuseram o solo), afloramento rochoso. Superfícies Naturais: Mata, campo Natural, área úmida. Corpos d'água: cursos d'água; lagos, lagoas, represas.</p>	Monteiro (2001) As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial.
Unidade de conservação (UCs)	<p>UCs de Proteção Integral: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; Refúgio de Vida Silvestre.</p> <p>UCs de Uso Sustentável: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural.</p>	<p>Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), Lei Federal nº 9985 de 2000 (BRASIL, 2000) as UCs Brasileiras são divididas em UCs de Proteção Integral e as UCs de Uso Sustentável. O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais (SNUC, cap. III, art. 7º, 1º§). Uso indireto é aquele que não envolve consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais (SNUC, cap. 1, art. 2º, alínea IX).</p> <p>Já nas UCs de Uso Sustentável, o objetivo básico é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais (SNUC, cap. III, art. 7º, 2º§).</p>
Distância de centros urbanos	Área urbana	ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) distância mínima a núcleos populacionais - deve ser avaliada a distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais, recomendando-se que esta distância seja superior a 500 m.
Distância de aeródromos	As condicionantes aéreas para implantação de um aterro sanitário devem observar as normas do Comando de Aeronáutica previstas no Plano de Gerenciamento de Risco Aviário de 2011 (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).	Setor interno da Agra, condicionante impeditiva de 9 km a partir do ponto médio da pista do aeródromo, setor externo na Agra condicionante especial de 20 km. Considerou-se apenas os aeródromos públicos.
Declividade do terreno	ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) Topografia - esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;	Intervalos adaptados de Montano et al. (2011)

Continua.

Conclusão

Variáveis	Descrição	Referências
Proximidade dos centros geradores de RSU	Se refere a viabilidade econômica em relação a distância de transporte entre o centro geométrico dos locais de geração de RSU (municípios) e o aterro.	Utilizou-se os intervalos em <i>Quantis</i> ⁸ obtidos pelo ArcGIS® 10.3.1.
Proximidade das rodovias	Se refere a viabilidade econômica, de acordo com a ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) o acesso é fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação.	Adaptado de Vasiljevic et al. (2012)

A definição das classes de adequação das variáveis dos critérios baseou-se na Resolução nº 4 de 95 (CONAMA, 1995), ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997), Inventário Florestal 2010, Monteiro (2010), Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000), e nas considerações de Montañó et. al. (2012) e Vesiljević et. al. (2012), além dessas referências também foram consultados especialistas da área. A Tabela 4.3 apresenta os critérios e respectivas variáveis e valores de classificação.

Considerou-se um intervalo com 5 níveis de adequação para cada variável assim, numa escala de 0 a 10 todos os intervalos tem a mesma variação de pontuação, ou seja, (0) Inadequado, (1 a 3) Baixa Adequação, (4 a 6) Média Adequação, (7 a 9) Adequado, (10) Totalmente Adequado. A Figura 4.3 apresenta os intervalos de classificação para os atributos das variáveis considerados para a classificação dos níveis de adequação.

Figura 4.3- Classes de adequação

⁸ Com intervalos idênticos, cada classe contém um número igual de feições (ArcGIS® 10.3.1).

Tabela 4.3- Intervalos considerados para a classificação dos níveis de adequação.

Crítérios	Variáveis	Atributos	Classificação
Ambientais	Vulnerabilidade dos aquíferos à poluição	Alta	0
		Média	5
		Baixa	8
	Classe de solo	Gleissolos	0
		Cambissolos	0
		Planossolos	0
		Organossolos	0
		Neossolos	0
		Argissolos	8
		Nitossolos	7
		Latossolos	9
	Distância de recursos hídricos	Até 200 m	0
		Acima de 200 m	10
	Tipo de vegetação	Formação arbórea/Arbustiva-herbácea em região de várzea	0
		Floresta Estacional	2
		Floresta Ombrófila	2
		Savana	2
		Vegetação secundária da Floresta Estacional	5
		Vegetação secundária da Floresta Ombrófila	5
		Área não mapeada	10
	Uso e ocupação do solo	Superfícies Artificiais	0
		Corpos d'água	0
		Superfície Natural	5
		Espaços abertos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal	8
		Áreas Agrosilvopastoris	10
	Unidade de Conservação	Proteção Integral	0
		Uso Sustentável	8
		Área não mapeada	10
Sociais	Distância dos centros urbanos	Até 500 m	0
		Acima de 500m	10
	Distância de aeródromos	Até 9000 m	0
		De 9000 m a 20000	5
Econômicos	Declividade do terreno	Acima de 20000 m	10
		Entre 2 e 8%	8
		2% ou entre 8 e 15%	5
		15 e 20%	2
	Proximidade dos centros geradores de RSU	Acima a 20%	0
		Até 4500m	5
		De 4500 a 7000 m	10
		De 7000 a 10000 m	8
	Proximidade das rodovias	Acima de 10000 m	2
		Até 500 metros	2
		De 500 m a 10000 m	8
		De 1000 m a 2000 m	10
		De 2000 m a 5000 m	5
		Acima de 5000m	2

4.1.3 Etapa 3: Análise de Decisão Multicritério (MCDA)

A terceira etapa consistiu em realizar uma análise multicritério a fim de obter-se um ranque de relevância entre as variáveis estabelecidas. Para isso foi empregado o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), também conhecido como comparação par a par, desenvolvido por Saaty (1980). De acordo com a revisão bibliográfica (item 2.3.1), esse método de análise multicritério é amplamente explorado e fornece resultados bastante satisfatórios entre as pesquisas de seleção de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários, além de ser largamente utilizado em problemas de decisão multicritério.

De acordo com Saaty (1980) o método AHP pondera cada variável em relação com todas as outras variáveis, usando uma escala de nove pontos (Tabela 4.4). A escala classifica as variáveis da menos importante (1/9) à mais importante (9), estabelecendo uma classificação com menores e maiores contribuições. Esse processo resulta em uma matriz de comparação para a avaliação de cada variável.

Tabela 4.4– Escala de ponderação - AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre à outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra: sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.
Recíprocos dos valores acima de zero	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima de zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparada com i	Uma designação razoável.
Racionais	Razões resultantes da escala	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, somente para completar a matriz.

Fonte: Saaty (1980)

O método consiste em uma matriz de comparação que pode ser expressa da seguinte forma:

$$Z = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Sendo Z a matriz de avaliação; z_{21} , z_{31} , z_{32} correspondem a cada comparação ponderada para as variáveis de entrada 1, 2 e 3 e z_{12} , z_{13} , z_{23} correspondem aos seus recíprocos. Nesse exemplo, z_{11} , z_{22} , z_{33} correspondem a comparação entre si, resultando em igual importância, 1.

Para a análise de consistência da comparação, necessária para analisar se os julgamentos estão coerentes, é calculada a taxa de consistência (CR) considerando que valores menores que 0,1 certifique a coerência dos resultados. Assim, Saaty (1980) define:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Em que RI é um índice aleatório, denominados índices randômicos, obtido por Saaty (1980), que é diretamente dependente do número de variáveis consideradas (Tabela 4.5), e CI é o índice de consistência, que fornece uma medida de consistência ou inconsistência da comparação e é definido como:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (6)$$

Onde λ representa o valor médio do produto do vetor consistência por valores presentes na matriz de avaliação, e n é o número de entrada de variáveis.

Tabela 4.5- Número de variáveis e respectivo índice randômico

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fonte: Saaty (1980)

Desse modo, os fatores de peso são extraídos a partir da matriz de comparação par a par e normalizado, isto é, no caso de n variáveis, um conjunto de pesos (ω) é definido como $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$, e a soma de ω_n deve ser igual a 1. Para obter o peso de cada variável é necessário incorporar um processo para determinar a relativa importância de cada variável.

Para combinar todas as variáveis em um único campo resultado, é necessário calcular a raiz de cada variável por um peso de padronização do valor (S_{ω}) para, em seguida, obter a relativa importância de cada variável de avaliação. Para o desenvolvimento do processo, as variáveis são calculadas para cada grupo considerando a seguinte função:

$$f(A) = a_{ij}^{S_{\omega a}} + b_{ij}^{S_{\omega b}} + c_{ij}^{S_{\omega c}} + d_{ij}^{S_{\omega d}} + e_{ij}^{S_{\omega e}} + f_{ij}^{S_{\omega f}} \quad (7)$$

Em que a_{ij} corresponde ao valor inicial na matriz (i, j), A , S e E correspondem a cada grupo das variáveis: ambientais, sociais e econômicos respectivamente, $S_{\omega i}$ é igual para a padronização dos valores extraídos do vetor de cada comparação par a par.

Neste trabalho as matrizes foram preenchidas por um quadro de especialistas, entre eles o coordenador de informações da Agencia das Bacias Piracicaba, Capivari, Jundiaí (PCJ) e professores pesquisadores com experiência em áreas interdisciplinares.

O mapa de adequabilidade é calculado através da sobreposição espacial dos mapas pela ferramenta de *Spatial Analyst – Raster Calculator*, a qual constrói e executa uma única expressão de álgebra de mapas usando a sintaxe de Python:

$$f(x) = f(A) + f(S) + f(E) \quad (8)$$

Após essa fase, o mapa *raster* é transformado em vetor novamente para obter a área necessária para a implantação do aterro sanitário.

A aplicação da metodologia de análise multicritério utilizando a técnica AHP, previamente descrita, foi realizada através do envio via e-mail de um arquivo em Excel, no qual foi modelada a matriz de comparação par a par, com as variáveis selecionadas e os campos a serem preenchidos pelos especialistas. As matrizes com as respostas dos especialistas e a média das matrizes estão disponíveis no Apêndice B. Foi também enviado aos especialistas o Termo de Consentimento, requerido pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP) para proceder a análise ética de projetos de pesquisa envolvendo seres humanos, o modelo do Termo de Consentimento está disponível no Apêndice C.

Na planilha Excel os especialistas puderam fazer suas ponderações e obter a consistência de suas respostas. A análise de consistência ou taxa de consistência (CR) é obtida pelo índice de consistência (CI) e índice randômico. A taxa de variabilidade das respostas λ foi de 11,51, a média do CI foi de 0,05, o índice randômico que é função do número de variáveis, no caso 11, foi de 1,51. A média da CR foi de 0,03, o que atesta a consistência das respostas dos especialistas, uma vez que a taxa foi menor que 0,1 conforme recomendado por Saaty (1980). A Tabela 4.6 apresenta os valores médios do auto vetor e auto vetor normalizado das matrizes de comparação par a par respondidas pelos especialistas e a média do resultado da análise de consistência.

Tabela 4.6-Média do resultado da Matriz de comparação par a par

Variáveis	Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
Vulnerabilidade dos aquíferos	3,796	0,260
Classe de solo	3,114	0,213
Distância de recursos hídricos	1,693	0,116
Tipo de vegetação	1,293	0,089
Uso e ocupação do solo	1,063	0,073
Unidades de conservação	1,038	0,071
Proximidade a centros urbanos	0,666	0,046
Distância de aeródromos	0,538	0,037
Declividade do terreno	0,519	0,036
Proximidade dos centros gerados de RSU	0,503	0,034
Proximidade das rodovias	0,375	0,026
Σ	14,598	1,000
Análise de consistência		
λ -max	11,51	
Índice de Consistência (IC)	0,05	
Taxa de consistência (CR)	0,03	

De acordo com o resultado da ponderação pode-se observar que os critérios ambientais foram os que lideraram o ranque de importância, seguido dos critérios sociais e econômicos.

4.1.4 Etapa 4: Tratamento dos dados espaciais

Nessa etapa estão inclusos todos os processamentos envolvendo dados espaciais e seu manuseio na plataforma SIG. Resumidamente, pode-se dizer que todo o processo está dividido em duas principais partes: sistematização de dados espaciais e alfanuméricos (inserção dos dados em plataforma SIG, edição e operações espaciais para classificação das categorias de adequação) e mapeamento (álgebra de mapas), que consiste na espacialização de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários.

O banco de dados organizado no presente trabalho dispõe dos dois tipos de estrutura de dados (espacial e alfanumérico), inseridos e armazenados no software ArcGis® 10.3.1. A Tabela 4.7 traz o resumo dos dados com suas respectivas estruturas, fontes, autores e escalas originais de mapeamento.

Tabela 4.7-Relação de dados espaciais e alfanuméricos

Base de dado	Tipo de dado	Escala	Fonte	Autor/Data
Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos à poluição	Espacial	-	DATAGEO	DAE/LEBAC, 2013
Mapa Pedológico do Estado de São Paulo	Espacial	1: 500000	IAC	Brasil, 1960 e Oliveira, 1999
Mapa de uso e cobertura da terra UGRHI 5 (PCJ)	Espacial	1:25000	DATAGEO	SMA/CPLA, 2010
Inventário Florestal 2010	Espacial	1:250000	SIFESP	-
Mapa de uso e cobertura da terra UGRHI 5 (PCJ)	Espacial	1:25000	DATAGEO	SMA/CPLA, 2010
Mapa de Unidade de Conservação	Espacial	1:25000	PCJ	-
Mapa de áreas urbanas	Espacial	*	PCJ	IBGE
Mapa de aeródromos	Espacial	-	DATAGEO	SMA/CPLA/DIA, 2013
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Matricial	1:50000	DATAGEO	SMA/CPLA, 2013
Mapa de sedes municipais	Espacial	1:50000	DATAGEO	SMA/CPLA/DIA/CDA, 2010
		1:250000	MT	DNIT, 2009
Mapas de rodovias*	Espacial	-	-	DER
		-	-	SIRGEO
Mapa de polígonos DNPM	Espacial	-	SIGMINE	CGEO/CGTIG
Mapa de Limite das UGRHI do Estado de SP	Espacial	1:1000000	DATAGEO	IGC-SP, 2011
Mapa de Limite Municipal	Espacial	*	PCJ	IBGE

PCJ- Agência das Bacias PCJ. Disponível em: <https://sig.agenciapcj.org.br:9083/k2gisapp/map>

DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista – Infraestrutura de dados Espaciais ambientais do Estado de São Paulo – IDEIA-SP. Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>

IAC – Instituto Agrônômico. Dado adquirido via pedido por e-mail

MT – Ministério dos Transportes. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/transporte-rodoviario-relevancia.html>

SIFESP: Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/sifesp/base-digital/>

SIGMINE- Sistema de Informações Geográficas da Mineração. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>

*Escala original 1:250.000 e generalizada pelo IBGE para escala compatível com a escala 1:2.500.000

Por conta das operações e análises espaciais necessárias e em conformidade com a Resolução do Presidente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nº 01 de 25/02/2005 que estabelece o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) como novo sistema de referência geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) (IBGE, 2015), todas as bases cartográficas utilizadas foram projetadas no sistema de referência *Datum* SIRGAS 2000, Projeção Transversa de Mercator (UTM), zona 23S. Ainda nessa etapa é realizado o recorte dos dados espaciais (ferramenta *clip - 3D Analysis Tools*) para isolamento da área de interesse. O fluxograma da Figura 4.4 apresenta as ferramentas utilizadas para a edição dos dados através do *Model Builder*.

Figura 4.4- Fluxograma “*Model Builder*”: Edição dos dados

Chamou-se de adequação dos dados os procedimentos de operações espaciais, tais como: transformação de dados espaciais vetoriais em dados espaciais matriciais (ferramenta *polygon/polyline to raster – Conversion Tools*) para a preparação dos dados para o processo de álgebra de mapas, e, cálculo de medidas de distâncias euclidianas (ferramenta *distance - Spatial Analyst*) para definição de variáveis que envolvem o distanciamento entre alguns padrões analisados (como distância de recursos hídricos, proximidade dos centros geradores de RSU, distância de aeródromos, distância dos centros urbanos e proximidade das rodovias). Em ambos os processos foi definido o tamanho do pixel, 10 x 10 metros. O fluxograma da Figura 4.5 exemplifica os dados de entrada e saída e as ferramentas utilizadas no ArcGIS® 10.3.1.

Figura 4.5– Fluxograma “Model Builder” : Transformando vetor em raster

Por fim, é feita a reclassificação dos *rasters* (*ferramenta reclassify - 3D Analysis Tools*), para classificação dos atributos das variáveis conforme definido na Tabela 4.2. Os mapas resultantes da reclassificação são apresentados pelas Figuras 4.6 a 4.1716

Figura 4.6- Classificação dos atributos da variável vulnerabilidade dos aquíferos à poluição.

Figura 4.7- Classificação dos atributos da variável classe de solo

Figura 4.8- Classificação dos atributos da variável distância de recursos hídricos

Figura 4.9 - Classificação dos atributos da variável tipo de vegetação

Figura 4.10 - Classificação dos atributos da variável uso e ocupação do solo

Figura 4.11- Classificação dos atributos da variável Unidade de conservação

Figura 4.12- Classificação dos atributos da variável distância de centros urbanos

Figura 4.13- Classificação dos atributos da variável distância de aeródromos

Figura 4.14 - Classificação dos atributos da variável declividade do terreno

Figura 4.15 - Classificação dos atributos da variável proximidade dos centros geradores de RSU

Figura 4.16 - Classificação dos atributos da variável uso e ocupação do solo

O processo de mapeamento utiliza-se de toda preparação de dados das etapas anteriores e da geração de produtos cartográficos através de operações espaciais de álgebra de mapas. O conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser visto como uma extensão da álgebra tradicional, com um conjunto de operadores e algoritmos matemáticos, em que as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry, 1993).

No software ArcGis® 10.3.1 foi utilizada a ferramenta *raster calculator* (*Spatial Analyst*), que constrói e executa uma única expressão de álgebra de mapas composta pelos valores fornecidos das ponderações resultantes da aplicação do método AHP. Através do fluxograma da Figura 4.17 é esquematizado os procedimentos finais para obter o mapa de adequação.

Figura 4.17– Procedimentos finais para a obtenção do mapa de adequação.

No Apêndice A é apresentado o fluxograma geral “Model Builder” para a obtenção do mapa de adequação.

O resultado é um modelo que permite inserir os mapas geográficos em camadas para a tomada de decisão em nível hierárquico. O módulo automaticamente multiplica o peso resultante com o valor de cada célula no mapa *raster* e agrega os valores das células para cada uma das variáveis para obter o valor final para cada célula. O resultado final é a um mapa de adequação (Figura 4.18).

Figura 4.18-Mapa de adequação

De acordo com o mapa raster (Apêndice D) a variação dos níveis de adequação final foi de 1 a 9. Ou seja, na área não ocorre áreas que sejam inadequadas ou totalmente adequadas. O mapa com a legenda de todos os níveis resultantes da álgebra de mapas pode ser visto no apêndice E. Os valores dos níveis de adequação obtidos foram então agrupados conforme os níveis de adequação: Baixa adequação (1 a 3), Média Adequação (4 a 6), Adequado (7 a 9).

4.1.5 Etapa 5: Mapa final de adequação

O mapa final de adequação é composto pelo mapa de adequação e o mapa de restrições. Com o propósito de analisar diferentes escalas de restrições, foram gerados dois cenários. Ambos os cenários possuem as mesmas bases de dados, no entanto, no segundo foram utilizadas áreas de buffer no mapa de restrições, aumentando assim a segurança. A Tabela 4.8 apresenta as variáveis de restrições.

Tabela 4.8 – Variáveis de restrição

Variáveis de restrição	Cenário 1	Cenário 2
	<i>Buffer</i>	
Unidade de Conservação (apenas proteção integral)	-	-
Polígono de produção mineral - DNPM (apenas concessão de Lavras)	-	-
Inventário Florestal 2010 (apenas formação arbórea/arbustivo-herbácea em região de várzea)	-	-
Aeródromos públicos	9 km	20 km
Recursos Hídricos	-	200 m
Área Urbana	-	500 m

4.1.5.1 Cenário 1

Os fatores identificados como de restrição foram: áreas de Unidade de Conservação (apenas Proteção Integral), Polígono de produção mineral – DNPM (apenas concessão de Lavras), buffer de 9 km de aeródromos públicos, Inventário Florestal 2010 (apenas Formação Arbórea/Arbustivo-Herbácea em região de várzea), recursos hídricos e área urbana. Os mapas dessas áreas foram reunidos no ArcGIS® 10.3.1 e sobrepostos, resultando assim um mapa de restrição, conforme ilustra a Figura 4.19.

O mapa final de adequação é resultado da sobreposição do mapa de adequação e o mapa de restrições. A Figura 4.20 apresenta o mapa final de adequação.

Figura 4.19- Mapa de restrições – Cenário 1

Figura 4.20- Mapa final de adequação - Cenário 1

O mapa final de adequação mostra que 62% da área da UGRHI 5 é classificada como adequada para a localização de aterro sanitário. A área de restrição representa 23%, as áreas classificadas como média adequação representam 15%. Excluindo as áreas de restrições, é quase insignificativo o que resta de áreas de baixa adequação fora do limite das áreas de restrições. Outro fato a considerar é que a UGRHI 5 possui uma extensão territorial de aproximadamente 14 mil km², e que, apesar de todas as restrições e considerações acerca das medidas de segurança para a implantação de aterros sanitários ainda é possível escolher locais que reúnam um grau satisfatório de adequabilidade preservando assim os três grupos de critérios analisados: ambiental, social e econômico.

Através do mapa de destinação de resíduos sólidos disponível no site da CETESB⁹, o qual fornece a ficha com as informações recolhidas anualmente pelos técnicos da CETESB para a avaliação do índice da qualidade dos aterros de resíduos (IQR), foi possível identificar a localização dos aterros sanitários existentes na UGRHI 5. A Tabela 4.9 apresenta os aterros e as coordenadas da sua localização.

⁹ Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#.

Tabela 4.9 – Localização dos aterros existentes na UGRHI 5

Aterro sanitário	Longitude	Latitude
São Pedro	-48.0546102	-22.582075
Paulínia	-47.20318023	-22.773223
Charqueada	-47.77776739	-22.510803
Cordeirópolis	-47.44627174	-22.51984
Indaiatuba	-47.27253008	-23.052389
Iracemápolis	-47.52533807	-22.61034
Jarinu	-46.7192012	-23.166415
Joanópolis	-46.2858622	-22.942118
Limeira	-47.36242696	-22.633253
Pedra Bela	-46.44685571	-22.733149
Pedreira	-46.93517491	-22.734574
Rafard	-47.55316792	-23.017159
Rio Claro	-47.57979303	-22.464212
Rio das Pedras	-47.55645846	-22.896593
Salto	-47.27307202	-23.168603
Santa Barbara d' Oeste	-47.4247417	-22.725149
Santa Maria da Serra	-48.16152702	-22.584263
Vargem	-46.40052992	-22.877203

Com posse dessas coordenadas, foi possível identificar a localização dos aterros sanitários existentes na UGRHI 5, conforme mostra a Figura 4.21.

Figura 4.21- Mapa final de adequação e aterros sanitários existentes – Cenário 1

De acordo com a Figura 4.21 pode-se observar que os aterros dos municípios de Charqueada, Rio Claro, Limeira e Paulínia estão localizados em áreas de restrição. Os municípios de Rio Claro, Limeira e Paulínia estão localizados na área buffer de 9 km dos aeródromos de Rio Claro, Limeira e Americana. O aterro do município de Paulínia é um aterro particular, sendo o maior aterro da UGRHI 5, com capacidade licenciada para receber 5000 t/dia de RSU. Este aterro recebe RSU proveniente de 25 municípios da UGRHI 5 e de outros municípios fora da UGRHI. O fato do aterro de Paulínia estar localização próximo de um aeródromo é bastante crítico, pois os aterros sanitários configuram-se como empreendimentos que, caso haja mau gerenciamento das técnicas previstas para a correta operação, podem se transformar em polos de atração de aves.

4.1.5.2 Cenário 2

No segundo cenário, como dito anteriormente foram utilizados os mesmos fatores de restrições, no entanto no fator distância de aeródromos considerou-se um buffer de 20 km ao invés de 9 km, e nos fatores de distância de recursos hídricos e de áreas urbanas foram considerados buffers de 200 m e 500 metros respectivamente (Figura 4.22). Essas zonas de buffer estão previstas na legislação, no entanto, pode-se autorizar a implantação de aterros sanitários com algumas orientações dos órgãos responsáveis.

O mapa final de adequação - Cenário 2 (Figura 4.23), mostra que 65% da UGRHI 5 é coberta por áreas de restrição, do restante, 30% é considerada área adequada e 5% áreas de média adequação. As áreas de baixa adequação foram totalmente cobertas pelas áreas de restrições.

Figura 4.22– Mapa de restrições – Cenário 2

Figura 4.23– Mapa final de adequação – Cenário 2

A grande variação de cobertura pelas áreas de restrição entre os cenários 1 e 2 se dá principalmente por conta da adoção do buffer de 20 km dos aeródromos no cenário 2. Esse é um dos fatores de restrição que mais interfere nos estudos de localização devido às proporções da área de segurança recomendada pelos órgãos responsáveis.

De acordo com o Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b), O Comando da Aeronáutica (COMAER) é o órgão federal responsável pela identificação dos focos atrativos ou com potencial de atração de aves localizadas fora dos sítios aeroportuários no interior da AGRA; pelo registro das ocorrências relacionadas ao risco aviário e envio dessas informações à Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) e pelo cumprimento das condicionantes especificadas nos Planos Básico e Específicos sobre o assunto. Segundo o mesmo Plano de Gerenciamento (PCA 3-2), a Agra é definida como a área circular com centro no ponto médio da pista do aeródromo e raio de 20 km. A Agra possui um setor interno, também chamado de núcleo, com raio de 9 km, e um setor externo, compreendido entre o núcleo e o seu limite (Figura 4.24). O mau gerenciamento das técnicas previstas para a correta operação de diversos empreendimentos pode permitir que uma atividade com potencial de atração de aves se transforme em um foco de atração das mesmas. Para garantir a segurança de voo, o COMAER se opõe à implantação de aterros sanitários quando o empreendimento se localizar a menos de um quilômetro do eixo de corredor do voo visual. No setor interno da Agra (9 km), o responsável pelo empreendimento é quem se compromete a adotar técnicas mitigadoras e de exclusão de aves. Em áreas situadas fora da Agra, o COMAER não opina a respeito.

Figura 4.24- Raio das áreas de risco Aviário

Fonte: SÃO PAULO (ESTADO) (2014b).

Sobrepondo agora ao mapa de adequação final – Cenário 2, os aterros existentes (Figura 4.25), observar-se que a maioria dos aterros sanitários estão localizados em áreas de restrição.

Apenas os aterros dos Municípios de Santa Maria da Serra, Rio das Pedras, Rafard, Salto, Pedreira, Pedra Bela e Joanópolis estão localizados em áreas não consideradas restritas.

Figura 4.25– Mapa final de adequação e aterros sanitários existentes – Cenário 2

5. OTIMIZAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTE DE RSU

A otimização da rede de transporte de RSU é primordial para o compartilhamento de aterros sanitários por mais de um município. Os modelos de otimização podem auxiliar os tomadores de decisão na formação de consórcios intermunicipais conforme as recomendações da Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

A proximidade entre os centros geradores de RSU (municípios) e os locais de receptação (aterros sanitários), considerando critérios de economia de escala, são requisitos fundamentais para viabilizar economicamente a implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas para a gestão dos RSU.

No estudo de identificação de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários na UGRHI 5 (Item 4 do presente trabalho), identificou-se os aterros sanitários existentes e em operação localizados em áreas adequadas. Uma vez que já exista um aterro em operação, os impactos financeiros e ambientais para a sua expansão podem ser minimizados quando comparado com a construção de um novo aterro.

Assim, o modelo de otimização da rede de transporte de RSU tem como função objetivo minimizar os custos de transporte dos RSU entre os municípios e os aterros, bem como minimizar o custo de operação dos aterros sanitários sujeitos a uma capacidade mínima que garanta ganhos econômicos com a economia de escala.

5.1 Considerações em relação aos custos adotados no modelo

O levantamento de custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é um dos grandes desafios para a gestão integrada dos RSU no Brasil. Os estudos existentes não apresentam detalhamento suficiente sobre as fontes de custeio ou despesas relacionadas à gestão de resíduos sólidos, como mão de obra, equipamentos,

empresas terceirizadas/concessionárias, coleta, transporte e disposição final, comprometendo a realização do planejamento financeiro dos órgãos gestores (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b).

Este é um problema nacional de gestão de RSU que o Brasil ainda precisa ultrapassar. Para que esse problema seja sanado, a PNRS condicionou o acesso a recursos da União destinados a ações e programas relacionados ao manejo de RSU a elaboração de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). E para auxiliar os municípios paulistas na elaboração do plano, o Estado de São Paulo instituiu o Projeto de Apoio à Gestão Municipal de Resíduos Sólidos. Dessa forma, todos os municípios devem informar de forma detalhada o custeio da gestão dos Resíduos Sólidos, no entanto, até o momento essas informações ainda estão na fase de coleta (BRASIL, 2010a).

É importante destacar que o presente estudo não teve como objetivo o levantamento dos custos envolvidos tanto no transporte como na ampliação, preparação da área e operação dos aterros sanitários. Apesar da informação sobre esses valores serem fundamentais para se chegar a um valor próximo do real para a otimização dos custos, a tarefa de obtê-los é bastante complexa demandando tempo, recursos financeiros, humanos e materiais, e por fim, inviáveis de serem executados paralelamente aos objetivos propostos neste trabalho.

Dessa forma, foi realizado um levantamento das informações disponíveis e mais recentes encontradas na literatura em relação ao custo de transporte do RSU e os custos de operação de aterros sanitários. Nos itens 5.1.1 e 5.1.2 são apresentados os levantamentos bem como os valores adotados para o presente estudo.

5.1.1 Custos de operação do aterro sanitário

Para o levantamento dos custos de operação dos aterros sanitários foram consultados o Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012b), o estudo da Abrete & FGV (2009) e o trabalho de Gandelini (2002).

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012b), conhecer os custos unitários da disposição final dos resíduos continua sendo um desafio, pois as bases de dados existentes não contemplam essa questão em sua pesquisa, ou quando o fazem consideram o preço agrupado (custos totais), não sendo possível fazer uma avaliação do tipo de serviço

executado. Essa limitação das bases de dados pode ser reflexo da fragilidade que os gestores municipais têm em identificar os custos envolvidos no manejo de resíduos sólidos. Assim, para a análise dos custos de disposição final, o PNRS (BRASIL, 2012b) utilizou a série do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

O SNIS não trabalha com a totalidade dos municípios brasileiros e, sim com amostras populacionais, ou seja, nem todos os municípios respondem a todas as perguntas, sobretudo no que diz respeito aos gastos. O levantamento de custo com a disposição final de resíduos foi realizado a partir da média dos dados existentes referentes às publicações da série histórica do SNIS – Resíduos Sólidos, nos anos de 2003 a 2008. A Tabela 5.1 apresenta a evolução temporal dos custos médios praticados para a disposição final de resíduos e rejeitos.

Tabela 5.1– Valor contratual médio para disposição de resíduos e rejeitos em aterro sanitários – Período 2003 a 2008.

Valor contratual médio para disposições em aterro	2003	2004	2005	2006	2007	2008
	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t
Todas operadoras	19,79	21,83	25,4	30,71	30,63	41,37
Empresa privada	21,06	21,83	26,34	32,11	29,59	43,60
Prefeitura ou SLU	16,63	SI	8,47	23,04	42,27	20,02
Consórcio	SI	SI	15,85	17,25	37,27	46,16
Outro	SI	SI	SI	SI	37,01	39,60

SI: Sem Informação

SLU: Serviço de Limpeza Urbana

Fonte: BRASIL (2012b).

Na Tabela 5.1, nota-se que no geral, o custo unitário para disposição de resíduos em aterros sanitários é mais elevado quando operado por uma empresa privada do que pela Prefeitura ou Serviço de Limpeza Urbana. Apesar de essa informação parecer contraditória pode-se identificar duas situações possíveis. A primeira é a hipótese de que as Prefeituras têm dificuldade para quantificar claramente o custo de determinado serviço e, a outra é que a operação do aterro realizado por uma empresa privada pode ser mais rigorosa e atenta às exigências ambientais do que aqueles operados pela Prefeitura (BRASIL, 2012b).

Com relação ao estrato populacional o PNRS (BRASIL, 2012b) apresenta ainda o custo de disposição final em aterros sanitários no ano de 2008, para os municípios com até 100 mil habitantes, no valor de R\$54,25/t, para os municípios com população entre 100 mil e 1 milhão de habitantes, R\$35,46/t, e para os municípios com mais de 1 milhão de habitantes, R\$33,06/t.

Como esperado, o custo (R\$/t) tende a diminuir conforme o aumento do número de habitantes.

De acordo com o estudo da Abrete & FGV (2009), foram levantados os custos de três portes de aterros sanitários: de grande porte (capacidade de recebimento de 2.000 toneladas por dia), de médio porte (capacidade de recebimento de 800 toneladas por dia) e de pequeno porte (capacidade de recebimento de 100 toneladas por dia). Os custos dos aterros foram computados assumindo-se conformidade com os padrões e normas oficiais de funcionamento. Os custos de operação estão relacionados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2-Custo para operação de aterros sanitários

Porte	Toneladas processadas/dia	Custo de Operação
Pequeno	100	R\$ 45.468,00
Médio	800	R\$ 206.485,00
Grande	2000	R\$ 461.494,00

Fonte: Adaptado de ABETRE & FGV (2009)

A Tabela 5.2 mostra que os custos de operação variam de acordo com o tamanho do aterro. O custo de operação por tonelada para os aterros de pequeno porte é de R\$ 454,70 por dia, já para aterros de médio porte, o custo por tonelada cai para R\$ 258,10 por dia, e por fim, para aterros de grande porte o custo por tonelada é de R\$ 230,75 por dia. A metodologia proposta apresenta a redução dos custos operacionais por tonelada conforme o porte do aterro comprovando os ganhos de escala. Os aterros de médio e grande porte apresentam custos até 50% inferior ao custo de operação de aterros de pequeno porte.

De acordo com Gandelini (2002), os custos operacionais dos aterros incluem os gastos realizados com as manutenções e reparos que os aterros demandam, juntamente com os dispêndios necessários para acomodar os resíduos no solo. Os custos foram calculados a partir de um valor médio de R\$ 15,00 por tonelada por dia de resíduo aterrado. Este valor de custo médio (t/dia) foi obtido com base nos valores praticados no município de Piracicaba no ano de 2002.

Observa-se uma grande diferença entre os valores estimados entre os estudos da Abrete & FGV (2009) e as estimativas do PNRS (BRASIL, 2012b) e Gandelini (2002) em relação aos custos operacionais para operação de aterros sanitários.

Considerando a hipótese levantada pelo PNRS (BRASIL, 2012b) de que os custos de operação de aterros nas empresas privadas são elevados pelo fato de que essas empresas são mais rigorosas e atentas às exigências ambientais do que as empresas públicas; e também considerando que no estudo realizado pela Abrete & FGV (2009) essas estimativas apresentam um quadro geral da origem dos valores, sobretudo detalhes sobre a vida útil dos aterros e características construtivas, optou-se neste estudo, em considerar os custos operacionais estimados pela Abrete & FGV (2009).

Como apontado anteriormente, o estudo da Abrete & FGV (2009) classifica os custos de acordo com porte do aterro sanitário, dessa forma considerou-se o custo operacional para aterros de médio porte, uma vez que os custos de operação de aterros de médio porte possuam ganhos de economia de escala próximos aos aterros de grande porte, e muito menores que os aterros de pequeno porte.

5.1.2 Custos de transporte

Como apresentado anteriormente, as informações relacionadas aos custos da gestão de RSU são bastante escassas e no caso do custo de transporte a dificuldade em obter determinados valores é ainda maior.

Sabe-se que ao utilizar valores médios para representação dos custos pode-se comprometer a simulação por considerar que esses custos sejam iguais para diferentes situações. No caso do custo de transporte entre um município e um aterro sanitário, muitos fatores podem fazer com que os valores variem entre diferentes pares de municípios e aterros. Ao se analisar uma rota de transporte de RSU entre um município e um aterro sanitário, esta rota pode ser composta por uma rodovia de pista simples, pista dupla, uma estrada municipal ou outra modalidade de via, dependendo da extensão, podem incluir dois ou mais tipo de vias. As rodovias de pista dupla, as quais podem ser consideradas pistas de melhor qualidade e tal característica pode baratear o custo de transporte, entretanto, na maioria das vezes, é concessionada implicando custos com tarifas de pedágio. Desta forma é inviável adotar qualquer aproximação de custos individuais para diferentes pares de município - aterro se a pesquisa não for feita com nível de detalhamento necessário.

Contudo, concluiu-se que pode ser mais prudente utilizar os valores médios baseados na literatura. Dentre os trabalhos mais relevantes encontrados na literatura e que apresentam valores específicos quanto aos custos de transporte de RSU pode-se citar o trabalho de Gandelini (2002) e o levantamento realizado pelo SNIS – Resíduos Sólidos (2001).

Gandelini (2002), por exemplo, utilizou como referência um valor médio do transporte de uma tonelada de resíduos por quilômetro, obtido através de dados coletados por Cunha (2000) para o município de Piracicaba/SP. O custo médio para o frete de RSU na cidade de Piracicaba foi de R\$0,0174/t.km durante um dia padrão de operação.

O SNIS- RS (2013), através do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2011, apresenta as informações e indicadores para a região Sudeste do Brasil. Nesse documento, identificou-se os municípios da UGRHI 5 que informaram os dados relacionados ao valor contratual de transporte (R\$/t) dos resíduos. Na Tabela 5.3 é apresentado o custo de transporte com base nos serviços terceirizados de transporte da unidade de transbordo ao destino final.

Tabela 5.3- Custo de transporte com base nos serviços terceirizados de transporte da unidade de transbordo ao destino final

Serviço terceirizado de transporte da unidade de transbordo ao destino final			
Municípios	Valor contratual (R\$/t)	Distância média até a unidade (km)	Custo de transporte (R\$/t.km)
Elias Fausto	59,65	17	3,51
Hortolândia	12,68	19	0,67
Jaguariúna	60,12	50	1,20
Morungaba	92,00	70	1,31
Valinhos	69,1	49	1,41

Fonte: Elaboração própria com base no SNIS-RS (2013).

A partir do valor contratual e da distância média até a unidade receptadora de RSU foi possível calcular o custo de transporte dos resíduos (R\$/t.km) para cada município. Pode-se inferir que a média do custo de transporte para os municípios que informaram os valores ao SNIS-RS (2013) é de R\$1,62/t.km.

Dessa forma, considerando que os valores apresentados pelo SNIS-RS (2013) são mais atuais e que envolve uma amostra de 5 municípios pertencentes a UGRHI 5, para o presente estudo foi considerado como custo médio de transporte o valor de R\$1,62/t.km.

5.2 Capacidade do aterro sanitário

A capacidade do aterro sanitário está relacionada à economia de escala obtida com a diluição de custos por uma grande quantidade de resíduos processada. Através do estudo de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários, pôde-se identificar que existem áreas adequadas disponíveis ao redor dos aterros sanitários existentes possibilitando a expansão dos mesmos.

Assim, o presente estudo parte do princípio de que a capacidade dos aterros sanitários existentes localizados em áreas adequadas deve ser ampliada. Essa ampliação faz-se necessária para todos os aterros existentes, pois a capacidade licenciada desses aterros é muito limitada. A Tabela 5.4 traz a capacidade atual dos aterros sanitários existentes na UGRHI 5 localizados em áreas adequadas.

Tabela 5.4– Capacidade licenciada (ano base 2014) dos aterros sanitários existentes na UGRHI 5 e que se encontram em locais adequados.

Aterro sanitário	Capacidade Licenciada (t/dia)
São Pedro	150
Cordeirópolis	14
Indaiatuba	250
Iracemápolis	14
Jarinu	11
Joanópolis	3.7
Pedra Bela	2
Pedreira	22
Rafard	150
Rio das Pedras	200
Salto	80
Santa Barbara d'Oeste	166
Santa Maria da Serra	2
Vargem	5

Fonte: Adaptado CETESB (2015)

Outro fato a considerar é que o maior aterro da UGRHI 5 em operação hoje, o aterro de Paulínia, que recebe 62,5 % do total dos resíduos gerados na unidade, está localizado em local inadequado para aterros sanitários (Vide item 4.3.1), e por este motivo foi desconsiderado do estudo.

Uma capacidade mínima para os aterros existentes deve ser estabelecida para que a redução dos custos com a economia de escala seja efetivamente alcançada.

De acordo com a SMA (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b) os levantamentos populacionais e as consequentes estimativas de geração de RS são condicionantes importantes para a formulação de propostas e arranjos territoriais, uma vez que possibilitam ganho de escala e otimização do rateio de custos de instalações físicas e serviços a serem implantados. Nesse sentido, a SMA (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b) definiu o valor de 350 toneladas/dia como escala de partida para a viabilização de empreendimentos.

De acordo com estudo apresentado pela Abrete & FGV (2009), os aterros sanitários de médio e de grande porte são muito mais econômicos que os de pequeno porte. Em função da economia de escala, conseguem ter custo de operação 50% inferiores aos aterros de pequeno porte.

Considerando que o valor estimado pela SMA (SÃO PAULO (ESTADO), 2014b) não apresente uma metodologia para o valor proposto, e considerando o custo de operação apresentado pela Abrete & FGV (2009) para aterros de médio e grande porte optou-se, no presente estudo, que os aterros sanitários devem partir de uma capacidade mínima de 800 toneladas de RSU/dia, garantido assim a economia de escala no custo de operação.

5.3 Distâncias rodoviárias

Para o modelo de otimização é necessário gerar uma matriz Origem-Destino (OD), para a obtenção das distâncias entre os aterros sanitários e os municípios. A tabela da matriz OD, para ambos os cenários, foi gerada através da ferramenta do ArcGIS® 10.3.1, *New OD Cust Matrix* (Apêndice F e G). Através da ferramenta *Network Analyst* é possível criar uma matriz OD de custos a partir de múltiplas origens para vários destinos. Uma matriz de custo OD é uma tabela que contém as distâncias de cada origem para cada destino. A ferramenta calcula o melhor caminho na rede para cada par de origem-destino e a distância é armazenada na tabela de atributos.

Os dados de entrada utilizados no SIG foram os pontos de localização das sedes municipais dos municípios (SMA¹⁰) e a localização dos aterros sanitários (CETESB¹¹). Além da localização foi utilizada a rede rodoviária de transporte para possibilitar que o programa calculasse as distâncias de transporte. A rede de transporte utilizada é fonte do *Open Street Map* (OSM), um projeto de mapeamento colaborativo para criar mapas livre e editáveis no mundo.

Os mapas OSM são criados usando dados de receptores de GPS, imagens aéreas e outras fontes livres. Tanto as imagens obtidas por processamento dos dados quanto os próprios dados estão disponíveis sob licença aberta.

5.4 Modelo matemático

O modelo matemático adotado neste estudo envolve uma estrutura de Programação Quadrática Inteira Mista (MIQP) e refere-se à minimização de uma função objetivo.

Os problemas de Programação Linear (LP) têm como objetivo maximizar ou minimizar uma função linear sujeito a restrições lineares. No entanto, em muitos problemas de maximização ou minimização, a função objetivo pode não ser uma função linear, ou alguma das restrições pode não ser uma restrição linear. Assim, esses problemas de otimização são chamados de problemas de Programação Não Linear (NLP) (Winston, 2003).

Os problemas de Programação Quadrática são considerados do tipo NLP, no entanto, tem restrições lineares, mas a função objetivo é quadrada. Assim, a diferença entre os problemas de programação quadrática e um problema de LP é que algum dos termos em função do objetivo envolve o quadrado de uma variável ou o produto de duas variáveis (HILLIER e LIEBERMAN, 2001).

Na função objetivo do modelo matemático de otimização, estão incorporadas as distâncias para a obtenção da localização ótima das unidades receptoras de resíduos, compreendendo m localidades produtoras (municípios) e n unidades receptoras de RSU (aterros), estando sujeita

¹⁰ Disponível em: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>

¹¹ Coordenadas obtidas através do mapa de destinação de resíduos urbanos. Disponível em: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/mapa_ugrhis/mapa.php#

as restrições de ordem física e comportamental. A seguir, apresentam-se as especificações das equações e inequações do modelo:

Função Objetivo:

$$MinZ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} X_{ij} Q_j C_{ij} + \sum_{i=1}^n F_i B_i CO_i \quad (9)$$

Z = Valor da função objetivo

A_{ij} = Distância rodoviária do município j ao aterro sanitário i

X_{ij} = Variável binária tipo zero-um, associada ao envio ou não de RSU de um município j para um aterro sanitário i

Q_j = Quantidade de RSU produzida no município j

C_{ij} = Custo de transporte de RSU

F_i = Variável binária, tipo zero-um, associada à recepção ou não de RSU por um aterro sanitário i

B_i = Quantidade de RSU receptada no aterro sanitário i

CO_j = Custo operacional do aterro sanitário i

Restrições:

(a) Capacidade máxima de recepção dos aterros sanitários

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} Q_j \leq 5000 F_i, \text{ para todo } i \quad (10)$$

(b) Capacidade mínima de recepção dos aterros sanitários

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} Q_j \geq 800 F_i, \text{ para todo } i \quad (11)$$

(c) Cada município só pode enviar RSU para um único aterro sanitário

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \text{ para todo } j \quad (12)$$

(d) Existência de pelo menos uma unidade receptora de resíduos na UGRHI 5.

$$\sum_{i=1}^n F_i \geq 1 \quad (13)$$

Foram definidos como capacidades máxima e mínima dos aterros sanitários os valores de 5.000 e 800 toneladas/dia de RSU respectivamente. O valor de capacidade máxima foi baseado na capacidade do maior aterro hoje em operação na UGRHI 5, o aterro particular de Paulínia, operado pela empresa ESTRE Ambiental. Já a capacidade mínima foi adotada em função das estimativas dos ganhos com economia de escala para aterros com capacidade de operação de 800 t/dia.

5.5 Análise dos resultados

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos para cada cenário considerado no presente estudo. As estruturas de entrada e saída de resultados dos Cenários 1 e 2 foram codificados através da linguagem de modelagem matemática AIMMS (ROELOFS e BISSCHOP, 2015), disponíveis nos Apêndice H e I.

5.5.1 Cenário 1

No cenário 1 do modelo de otimização da rede de transporte de RSU, considerou-se que todos os 14 aterros em operação na UGRHI 5 que se encontram em locais adequados, podem ser receptores de RSU. Considerou-se também que a capacidade mínima dos aterros era superior a 800 t/dia.

A minimização dos custos considerados para a obtenção da localização ótima dos aterros sanitários, dada as restrições, resulta em R\$1.457.046,90 por dia. A Tabela 5.5 apresenta os aterros sanitários receptores e os respectivos municípios.

Tabela 5.5- Aterros sanitários receptadores e respectivos municípios.

Aterro sanitário	Município	Distância (km)	Geração RSU (t/dia) por município	Capacidade necessária do aterro (t/dia)	Capacidade Atual (t/dia)
Indaiatuba	Capivari	29,6	39,73	815,87	250
	Elias Fausto	12,5	9,43		
	Hortolândia	33,2	191,27		
	Indaiatuba	7,4	201,89		
	Itupeva	34	36,56		
	Louveira	41,1	32,92		
	Monte Mor	17,5	40,92		
	Rafard	33,2	5,54		
	Salto	22,1	101,1		
	Valinhos	42,5	101,33		
	Vinhedo	40,2	55,18		
Iracemápolis	Agua de São Pedro	49,7	2,15	871,18	14
	Analândia	69,4	2,6		
	Charqueada	45,5	10,33		
	Cordeirópolis	24,7	14,43		
	Corumbataí	56,7	1,52		
	Ipeúna	48,8	4,08		
	Iracemápolis	3,7	15,21		
	Limeira	15,9	256,82		
	Piracicaba	23,3	342,06		
	Rio Claro	29,8	174,23		
	Saltinho	36,8	4,51		
	Santa Gertrudes	31,9	16,81		
	Santa Maria da Serra	82,3	3,6		
	São Pedro	57,3	22,83		
Jarinu	Atibaia	31,8	111,32	908,3	11
	Bom Jesus dos Perdões	40,7	13,89		
	Bragança Paulista	50,1	138,6		
	Campo Limpo Paulista	8,3	63,99		
	Itatiba	36,3	75,39		
	Jarinu	6,3	14,56		
	Joanópolis	77,0	8,83		
	Jundiaí	19,5	342,76		
	Nazaré Paulista	51,4	10,46		
	Piracaia	52,8	21,23		
	Vargem	61,8	3,41		
	Várzea Paulista	11,4	103,86		

Continua.

Conclusão.

Aterro sanitário	Município	Distância (km)	Geração RSU (t/dia) por município	Capacidade necessária do aterro (t/dia)	Capacidade Atual (t/dia)
Pedreira	Amparo	22,3	43,95	1442,77	22
	Artur Nogueira	36,5	35,74		
	Campinas	33,3	1.248,24		
	Holambra	22,7	6,61		
	Jaguariúna	8,0	39,40		
	Mante Alegre do Sul	63,1	3,07		
	Morungaba	46,0	7,64		
	Pedra Bela	76,5	1,05		
	Pedreira	5,0	35,74		
	Pinhalzinho	55,8	4,91		
	Santo Antônio da Posse	27,7	14,16		
	Tuiuti	39,9	2,26		
Santa Barbara d'Oeste	Americana	13,1	203,32	801,67	166
	Cosmópolis	38,3	48,76		
	Mombuca	42,3	1,97		
	Nova Odessa	18,5	44,08		
	Paulínia	38,9	76,11		
	Rio das Pedras	31,9	25,16		
	Santa Barbara d'Oeste	4,1	168,97		
	Sumaré	22,9	233,3		
TOTAL		1.924,5	4.839,79	4.839,79	463

De acordo com a Tabela 5.5 dos 14 aterros sanitários localizados em áreas adequadas, foram selecionados 5 aterros como solução ótima. Do total de 4.839,79 t/dia de resíduos gerados pelos 57 municípios da UGRHI 5, o aterro de Pedreira será responsável por receber 29,8% deste total. Os demais municípios, Jarinu, Iracemápolis, Indaiatuba e Santa Bárbara d' Oeste receberão respectivamente 18,8%, 18%, 16,8% e 16,6%. A somatória da capacidade anual desses aterros é de 463 t/dia de resíduos. Para suprir a geração de resíduos dos 57 municípios, a capacidade atual total terá que ser elevada em 10,45 vezes, ou seja, em 1.045%. A somatória da distância total a ser percorrida por todos os municípios aos seus respectivos aterros é de 1.924,5 km/dia.

A Figura 5.1 ilustra as localizações dos aterros sanitários na UGRHI 5 e a capacidade necessária para os respectivos aterros.

Figura 5.1– Localização dos aterros sanitários - Cenário 1

De acordo com o método de dimensionamento (MONTEIRO, 2001), a área total necessária para os aterros de Pedreira, Jarinu, Iracemápolis, Indaiatuba e Santa Bárbara d'Oeste é de 809,631; 448,560; 508,480; 487,760; 456,400 m² respectivamente.

Dos 57 municípios, 33 estão localizados a mais de 30 km do aterro sanitário. Para esses municípios se torna economicamente viável, a instalação de uma Estação de Transferência (ET) para realizar o armazenamento do resíduo, transbordo para veículos com maior capacidade e envio para o aterro sanitário.

5.5.2 Cenário 2

No Cenário 2 foram identificados 7 aterros sanitários existentes na UGRHI 5 que se encontram em locais adequados. Como no cenário 1, foi considerado que a capacidade mínima dos aterros seja superior a 800 t/dia.

A minimização dos custos considerados para a obtenção da localização ótima dos aterros sanitários, dada as restrições, resulta em R\$1.576.233,60 por dia. A Tabela 5.6 apresenta os aterros sanitários e os respectivos municípios.

Tabela 5.6– Aterros sanitários receptadores e respectivos municípios.

Aterro sanitário	Município	Distância (km)	Geração RSU (t/dia) por município	Capacidade necessária do aterro (t/dia)	Capacidade Atual (t/dia)
Pedreira	Amparo	22,3	43,95	1.976,71	22
	Artur Nogueira	36,5	35,74		
	Atibaia	89,1	111,32		
	Bom Jesus dos Perdões	98,0	13,89		
	Bragança Paulista	63,9	138,60		
	Campinas	33,3	1248,24		
	Tuiuti	39,9	2,26		
	Cosmópolis	37,3	48,76		
	Holambra	22,7	6,61		
	Jaguariúna	8	39,40		
	Joanópolis	104,1	8,83		
	Monte Alegre do Sul	63,1	3,07		
	Morungaba	94,8	7,64		
	Nazaré Paulista	108,6	10,46		
	Paulínia	36,6	76,11		
	Pedra Bela	76,5	1,05		
	Pedreira	5	35,74		
	Pinhalzinho	55,8	4,91		
	Piracaia	94,2	21,23		
	Santo Antônio da Posse	27,7	14,16		
Rafard	Valinhos	43,2	101,33	892,48	150
	Vargem	83,3	3,41		
	Americana	46,4	203,32		
	Capivari	6,3	39,73		
	Elias Fausto	25,1	9,43		
	Hortolândia	47,4	191,27		
	Monte Mor	31,3	40,92		
	Rafard	2,9	5,54		
	Santa Barbara d Oeste	38,1	168,97		
	Sumaré	48,3	233,3		

Continua.

Conclusão.

Aterro sanitário	Município	Distância (km)	Geração RSU (t/dia) por município	Capacidade necessária do aterro (t/dia)	Capacidade Atual (t/dia)
Rio das Pedras	Aguas de São Pedro	54,2	2,15	942,39	200
	Analândia	101,6	2,60		
	Charqueada	54	10,33		
	Cordeirópolis	62,7	14,43		
	Corumbataí	89	1,52		
	Ipeúna	65,7	4,08		
	Iracemápolis	45,2	15,21		
	Limeira	52,8	256,82		
	Mombuca	3,8	1,97		
	Nova Odessa	49,2	44,08		
	Piracicaba	24,5	342,06		
	Rio Claro	62,1	174,23		
	Rio das Pedras	7,7	25,16		
	Saltinho	15	4,51		
	Santa Gertrudes	64,2	16,81		
	Santa Maria da Serra	86,8	3,60		
	São Pedro	61,8	22,83		
Salto	Campo Limpo Paulista	67,4	63,99	1028,21	80
	Indaiatuba	12,4	201,89		
	Itatiba	59	75,39		
	Itupeva	36,5	36,56		
	Jarinu	73,4	14,56		
	Jundiaí	55,4	342,76		
	Louveira	44,1	32,92		
	Salto	5,2	101,10		
	Várzea Paulista	64,4	103,86		
	Vinhedo	43,1	55,18		
TOTAL		2792,1	4.839,79	4.839,79	452

De acordo com a Tabela 5.6 dos 7 aterros sanitários localizados em áreas adequadas, foram selecionados 4 aterros como solução ótima. Do total de 4839,79 t/dia de resíduos gerados pelos 57 municípios da UGRHI 5, o aterro de Pedreira será responsável por aterrar 40,8% deste total. Os demais municípios, Salto, Rio das Pedras e Rafard receberão respectivamente 21,3%, 19,5% e 18,4%. A somatória da capacidade anual desses aterros é de 452 t/dia de resíduos. Para suprir a geração de resíduos dos municípios, a capacidade atual terá que ser

elevada em 10,7 vezes, ou seja, em 1.070%. A somatória da distância total a ser percorrida por todos os municípios aos seus respectivos aterros é de 2.792,1 km/dia.

A Figura 5.2 ilustra as localizações dos aterros sanitários na UGRHI 5 e a capacidade necessária para os respectivos aterros.

Figura 5.2- Localização dos aterros sanitários - Cenário 2

De acordo com o método de dimensionamento (MONTEIRO, 2001), a área total necessária para os aterros de Pedreira, Salto, Rio das Pedras e Rafard é de 1.101,560; 499,520; 527,520; 575,680 m² respectivamente.

Dos 57 municípios, 43 estão localizados a mais de 30 km do aterro sanitário, tornando então, para esses municípios, economicamente viável a instalação de uma Estação de Transferência (ET) para realizar o armazenamento do resíduo, transbordo para veículos com maior capacidade e envio para o aterro sanitário.

5.5.3 Comparação entre os cenários

No cenário 1 de caráter menos restritivo, foram identificados 14 aterros em áreas consideradas adequadas. Já no cenário 2 de caráter mais restritivo, foram identificados 7 aterros em áreas consideradas adequadas. Os resultados do modelo de otimização para esses dois cenários foram compilados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7- Comparativo entre os cenários

	Nº de aterros sanitários	Custo total (R\$/dia)	Distância total (km/dia)	Capacidade atual do(s) aterro(s) (t/dia)
Cenário 1	5	1.457.046,9	1.924,5	463
Cenário 2	4	1.576.233,6	2.792,1	456

A solução ótima do modelo matemático de otimização para o cenário 1 aponta que a melhor solução, considerando custos operacionais e de transporte e a capacidade mínima de 800 t/dia por aterro sanitário, indica a necessidade de 5 aterros a um custo total diário de R\$1.457.046,9. Já para o cenário 2 a solução ótima indica a necessidade de 4 aterros, um a menos no que no cenário 1, a um custo total diário de 1.576.233,60. O aterro sanitário que está presente nos dois cenários é o aterro de Pedreira o qual é responsável por receber a maior quantidade de resíduos gerados na UGRHI 5 em ambos os cenários. O aumento do custo total diário entre os cenários 1 e 2 é de R\$119.186,70/dia (7,56%). Quanto a capacidade total atual dos aterros há uma redução de 7 t/dia (1,5%).

Considerando que o cenário 2 possui características mais restritivas que o cenário 1, assegurando que o local onde encontram-se os aterros sanitários existentes são locais adequados do ponto de vista ambiental, social e econômico, considerando também que o aumento do custo total diário para se ter 4 aterros é de apenas 7,56% e que a capacidade atual sofreria uma redução de 1,5% da capacidade total, pode-se concluir, mesmo com um aumento da distância total de transporte em 867,6 km por dia (31%), que o cenário 2 é o mais indicado para a gestão integrada dos resíduos sólidos da UGRHI 5, pois os custos operacionais que serão reduzidos com a economia de escala fazem com que o custo total seja minimizado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Nesse tópico, faz-se uma reflexão acerca dos principais pontos abordados pelo presente estudo: metodologias, resultados alcançados e a relevância e aplicabilidade do tema em questão.

Identificação de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários:

A tarefa de identificar áreas adequadas para a localização de aterros sanitários é um componente desafiador do processo global de gestão de resíduos. Este problema ambiental tem atraído pesquisadores do mundo todo e fortalecendo o uso de ferramentas espaciais e técnicas de tomada de decisão. A integração de MCDA e SIG aqui apresentadas combinam metodologia de apoio à decisão com poderosos recursos de visualização, mapeamento e análises diversas.

Os estudos de seleção de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários se destacam, pois requerem uma avaliação no campo ambiental, social e econômico, buscando-se um equilíbrio entre esses fatores para se chegar a um consenso sobre o nível de adequação de uma determinada área.

No presente estudo foram identificados onze variáveis de maior relevância, seis delas pertencentes ao grupo de critérios ambientais, dois ao grupo social e três ao grupo de critérios econômico.

Para cada uma dessas variáveis foi necessário buscar por base de dados que trouxesse a informação características (atributos) dessas áreas. Assim, devido a essa diversidade de dados, não se pode optar por uma escala de trabalho comum à todas as informações cartográficas fornecidas. No entanto, todas as bases de dados foram obtidas sem custo, através de sites e órgãos governamentais como o DATAGEO, Ministério dos Transportes, SIFESP, SIGMINE, Agência das Bacias PCJ e IAC.

A classificação dos níveis de adequação dos atributos das variáveis foi feito através da análise da legislação e normas nacionais vigentes, estudos relacionados à identificação de áreas adequadas para instalação de aterros sanitários e também através da opinião de especialistas da área. Outra forma de obter a pontuação para tal classificação é através da lógica *fuzzy*, muito utilizada, por exemplo, para variáveis como relevo, no entanto, como existiam estudos relacionados a essa classificação optou-se por utilizar a classificação já estudada. Recomenda-se para trabalhos futuros comparar os resultados da lógica *fuzzy* com os resultados utilizados.

Em se tratando de um tema bastante complexo que envolve interesses diversos, houve a preocupação em selecionar um grupo de especialistas que pudessem contribuir com o estudo com conhecimento comprovado sobre o assunto. Assim, a amostra desses especialistas tornou-se bastante reduzida, somado a esse fato, o tempo disponibilizado para que esses pudessem dar a sua contribuição a pesquisa também foi escasso e um número bastante reduzido de amostras foi coletado. De 15 especialistas selecionadas apenas 5 retornaram e dentre eles, 1 não apresentou coerência entre as respostas, tendo assim que ser desconsiderado da amostra. Contudo as 4 amostras consideradas, são oriundas da opinião de especialistas com comprovado conhecimento na área de estudo e suas respostas atingiram um grau bastante considerável de consistência, fato difícil de ser alcançado sobretudo por conta da elevada quantidade de variáveis que foram ponderadas. Recomenda-se que para trabalhos futuros um quadro maior de especialistas seja convidado a participar e também um tempo maior seja disponibilizado.

As matrizes de comparação par a par foram modeladas em Excel e encaminhadas aos especialistas. Esse método possibilitou que os especialistas pudessem verificar a consistência de suas respostas através da taxa de consistência calculada em função de suas respostas. Existem softwares específicos que manipulam os dados de entrada e retornam os valores da ponderação, com eles, inclusive, é possível realizar análises de sensibilidade elevando ou reduzindo determinados valores. No entanto, esses softwares não puderam ser utilizados no trabalho uma vez que são versões comercializadas e não disponíveis para uso acadêmico. É importante dizer também que qualquer simples alteração nos dados de entrada, como por exemplo, o número de especialistas consultados ou as variáveis analisadas, irá afetar diretamente o resultado final do mapeamento.

Para garantir que a legislação vigente relacionada as orientações, de caráter impeditivo, sejam cumpridas, foram identificados 6 variáveis de restrição e a partir destas foram gerados dois

mapas de restrições de escalas diferentes, estes mapas foram então, sobrepostos ao mapa de adequação resultando em dois mapas finais de adequação com cenários distintos. A principal diferença dos cenários dos mapas de restrição é em relação a área buffer adotada no cenário 2. No cenário 1 foram consideradas apenas as áreas de restrição sem área buffer, no cenários 2, a maior variação se dá pela área buffer dos aeródromos, um dos fatores que mais interfere nos estudos de localização devia às proporções da área de segurança recomendada pelos órgãos intervenientes.

Foi identificada a existência de 18 aterros sanitários em operação e dentro de padrões de adequação segundo o IQR nova proposta da CETESB. Propôs-se assim, a ampliação dos aterros sanitários já existentes localizados em áreas adequadas. A hipótese levantada para justificar a ampliação ao contrário da implantação de novos empreendimentos se dá, pelos seguinte fatos: esses empreendimentos configuram-se como atividades modificadoras do meio ambiente; as barreiras sociais impostas pela rejeição desse empreendimentos já foram se não totalmente, em parte, ultrapassadas pela população lindeira; essas áreas também já possuem acessos por estradas e infraestrutura mínima como abastecimento de água, energia elétrica, coleta e tratamento de esgoto; acrescenta-se ainda o fato de que as áreas ao redor dos aterros sanitários podem ter valores menos onerosos quando comparada à outras.

Um dos resultados relevantes do estudo foi identificar que em ambos os cenários, o maior aterro sanitário da UGRHI 5 e um dos maiores do Estado de São Paulo e a nível nacional encontra-se em área de restrição.

Contudo, pode-se avaliar o SIG como uma ferramenta robusta que proporciona uma rápida avaliação da área de estudo, além da possibilidade de gerenciar e analisar grande quantidade de dados (espaciais e não espaciais) a partir de variadas fontes. O software ArcGIS® mostrou-se uma ferramenta bastante poderosa possibilitando resultados rápidos e precisos. Com a técnica de MCDA através do método AHP é possível obter a soluções para problemas complexos que envolvem interesses diversos e opiniões distintas, resultando em um consenso comum. Portanto são ferramentas bastante versáteis as quais possibilitam agregar novas informações, atualiza-las e adequá-las para outras áreas de estudo.

Otimização da rede de transporte de RSU

Através do modelo matemático aplicado aos cenários resultantes do estudo de localização de áreas adequadas para a localização de aterros sanitários, pôde-se simular um número ideal de aterros sanitários para a UGRHI 5. Os cenários resultaram em duas possibilidades de associação entre municípios e mostrou que o modelo matemático de otimização é uma ferramenta que pode representar as redes de transporte de RSU para o compartilhamento de aterros sanitários por um conjunto de municípios. No entanto, algumas considerações importantes em relação aos dados de entrada do modelo devem ser destacadas.

O presente estudo não teve como objetivo o levantamento de todos os custos envolvidos no transporte como: aquisição de terras, desapropriação, ampliação, preparação da área e operação dos aterros sanitários.

Tais informações configuram-se como um grande impasse para o planejamento da gestão de resíduos no Brasil, as prefeituras não têm a cultura de registrar. A Política Nacional dos Resíduos Sólidos é um marco nacional em que se estabelece que todos os municípios elaborem os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) como condição necessária para os municípios terem acesso aos recursos da União, destinados ao manejo dos resíduos sólidos. Dessa forma os municípios terão de informar esses custos proporcionando que estudos futuros adotem valores mais precisos.

Considerando a escassez de dados relativos aos custos, o modelo matemático é composto apenas pelos custos de transporte e custos operacionais. Sabe-se que esses valores podem variar de município para município e de região para região, por isso para o custo de transporte foi realizado uma média dos custos obtidos assim como os custos de operação. Para trabalhos futuros recomenda-se que esses valores sejam empregados com maior rigor.

Ao utilizar valores médios para representar custos para diferentes locais assume-se a fragilidade do modelo em relação a resultados reais ou próximo do real, sabendo-se que os modelos são simplificações da realidade, e quando esses modelos não são calibrados com valores reais essa simplificação pode ficar bastante vulnerável.

Assim, este estudo pode ser complementado com o desenvolvimento de pesquisas futuras. Destacam-se pelo menos 2 pesquisas que se derivam desta contribuição: uma destinada a

aferição dos custos para a ampliação e operação de aterros sanitários e outra em relação a aferição dos custos de transporte de RSU.

O resultado do modelo mostra que a economia de escala com o uso compartilhado dos aterros sanitários e a busca por menores distâncias de transporte podem reduzir significativamente o número de aterros sanitário de uma região.

Sabe-se que a formação dos consórcios públicos para o compartilhamento de aterros sanitários vai muito além de indicações técnico-científica. É necessário que os municípios firmem acordos uns com os outros para que juntos possam adquirir novas terras, concretizar as ampliações e operarem os aterros.

Como sugestões para trabalhos futuros, para que a pesquisa caminhe ao encontro com as diretrizes da PNRS, recomenda-se que estudos sejam feitos para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão que permita ao consórcio propostos, determinar a rota tecnológica de sistemas de tratamento de resíduos, ou seja, para o conjunto de atividades que vão da deposição temporária em contentores, à coleta e transporte e ou transferência, tecnologias de valorização e de tratamento de resíduos sólidos e a sua disposição final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. 12 ed. São Paulo: ABRELPE, 2015. 120 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABRETE & FGV – FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Estudos sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros sanitários: Relatório Final. São Paulo: ABRETE & FGV, 2009. 56 p.

ARAGONÉS-BELTRÁN, P. et al. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). **Journal of Environmental Management**. v. 91, p. 1071–1086, 2010, ISSN 0301-4797. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709004046>. Acesso em: 20 de abr. de 2013.

ARAKAKI, R. G. I.; LORENA, L. A. N. Uma heurística de localização-alocação (HLA) para problemas de localização de facilidades. **Produção**, v. 16, n. 2, p. 319-328, 2006, ISSN 0103-6513. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132006000200011. Acesso em 04 mar. de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro, 2010.

BANA e COSTA, C. A.; BAINAT E. **Estruturação de modelos de análise multicritério e problemas de decisão pública**. Centro de Estudos de Gestão, Portugal. Artigo de investigação, n. 3, 2010, ISSN 1645-2955. Disponível em: <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1010988/1/WP%20CEG-IST%2003_2010.pdf>. Acesso em 20 de nov. de 2013.

BATISTA, S. **O papel dos prefeitos e das prefeitas na criação e na gestão dos consórcios Públicos**. Guia de Consórcios Públicos. Caderno I; v. 1. 1. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2011. 115 p.

BERRY, K. K. Computer-assisted map analysis: potential and pitfalls. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church : ASPRS, v. 53(10), p. 1405-1410, 1991.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008. 248 p. ISBN 978-85-86238-4

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

_____. Decreto – lei nº 99.274 de 6 de Junho de 1990, regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispões, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Área de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 de jun. de 1990.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de jul de 2000.

_____. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 de abr. de 2005.

_____. Decreto – lei nº 6.017, de 17 de Janeiro de 2007. Regulamenta a Lei nº 11,107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de Consórcios Públicos. Brasília, 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 de jan. de 2007.

_____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010a. 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, DF, 03 de ago. de 2010.

_____. Decreto – lei nº 7.404 de 23 de Dezembro de 2010b. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Internacional da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de dez. de 2010.

_____. Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente e ICLEI -Brasil. **Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: manual de orientação**. Brasília, 2012a. ISBN:978-85-99093-21-4. 156 p. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/manual_elaboracao_pmgirs_geres_mma_iclei.pdf>. Acesso em: 18 de Out. de 2013.

_____. Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: Versão pós Audiência e Consulta Pública para Conselhos Nacionais**. Brasília, 2012b. 102 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf. Acesso em: 30 de jun. de 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São

José dos Campos, 2001. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/publicacao%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/publicacao%20(2).pdf). Acesso em: 17 de out. 2012.

CHANG, N.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. “Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in fast-growing urban region”. **Journal of Environmental Management**, v. 87, ISSN: 0301-4797, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707000230>>. Acesso em: 10 de ago. de 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2014**. (recuso eletrônico). Coordenação Cristiano Kenji Iwai, Maria Heloisa P. L. Assumpção. Secretaria do Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103, São Paulo: CETESB, 2015a. 126 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB, 2015b. Disponível em: <http://licenciamentoambiental.cetesb.sp.gov.br/atividades-e-empresendimentos-sujeitos-ao-licenciamento-ambiental/roteiros/aterros-sanitarios/>. Acesso em: 13 de Out. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

_____. Resolução nº 4, de 9 de outubro de 1995. Estabelece as Áreas de Segurança Portuária - ASAs. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 dez. 1995.

_____. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 dez. 1997.

CRUZ, M. C. M. T.; ARAÚJO, F. F. **Consórcios Intermunicipais paulistas ruma aos consórcios públicos – Reflexões**. Fundação Prefeito Faria Lima – CEPAM. Centros de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal. IV Congresso Consad de Gestão Pública. Centro de Convenções Ulysses Guimarães. Brasília, 2011.

CRUZ, M.C.M.T.; ARAÚJO, F.F.; BATISTA, S. Consórcios uma perspectiva histórico-institucional. In: Cadernos Adenauer XII n.4. Municípios e Estados: experiências com arranjos cooperativos Rio de Janeiro. Brasília: Fundação Konrad Adenauer, 2011. 13 p.

DALMAS, F. b. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e litoral sul**. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DAMAEQ. Damaeq Dávilla Indústria Mecânica de Máquinas Ltda. Disponível em: <http://damaeq.ind.br/produtos/coletores/>. Acesso em: 31 de Out. de 2015.

DELGADO, O. B. et al. Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. **Waste Management**, v. 28, p. 1137–114, 2008, ISSN 0956-053X. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07002395>>. Acesso em 15 de out. de 2013.

DODGSON, J. et al. **Multi-criteria analysis: a manual**. Department for Communities and Local Government: London, 2009. ISBN 1409810232. Disponível em:< http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf>. Acesso em 18 de dez. de 2013.

ESKANDARI, M; HOMAEI, M; MAHMODI, S. An integrated multi criteria approach for landfill siting in a conflicting environmental, economical and socio-cultural area. **Waste Management**, v. 32, n. 4, p. 1528-1538, 2012, ISSN 0956-053X. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12001249>. Acesso em: 20 de dez. de 2013.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Atlas SEADE da economia paulista. São Paulo: SEADE, 2006.

GALATI, S. **Geographic Information Systems Demystified**. Norwood, MA: Artech House, INC, 2006. 270 p. ISBN-10: 1-58053-533-x

GBANIE, S. P. et al. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. **Applied Geography**, 2012, ISSN 0143-6228. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622812000690>>. Acesso em 23 de julho de 2011.

GANDELINI, L. **Localização de aterros sanitários e lixões no estado de São Paulo, considerando padrões ambientais distintos: uma aplicação de modelos matemáticos de otimização**. 2002. 116 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em ciências econômicas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GORSEVSKI, P. V. et al. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. **Waste Management**, v. 32, n. 2, p. 187-296, 2012, ISSN 0956-053X. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004296>. Acesso em out. de 2013

GUIQIN, W.; LI, Q.; GUOXUE, L. LIJUN, C. Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2414–2421, 2009, ISSN 0301-4797. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003599>>. Acesso em: 14 de ago. de 2013.

HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introduction to operations research**. McGraw-Hill Higher Education, 2001. 7th ed. ISBN 0-07-232169-5.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução da Presidência do IBGE nº 1/2015**. Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2015 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População residente, por situação do domicílio e por sexo – 1940 – 1996**. Contagem da População 1996. Rio de Janeiro: IBGE, 1997, v. 1. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censohistorico/1940_1996.shtm. Acesso em: 26 de nov. de 2013

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População 2010**. IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=35&search=sao-paulo>. Acesso em: 13 set. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE CIDADES – população estimada 2014. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355030>. Acesso em 04 de Jul. de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE RESÍDUOS. **Resíduos Sólidos Urbanos - Concepção, construção e exploração de tecnossistemas – Projetos, metodologias e tecnologias aplicadas em Portugal no período de 1996 a 2001**. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. ISBN 972,95755-7-6. ed. Portugal: INR, 2002.

INVENTÁRIO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, Instituto Florestal, 2001. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/sifesp/base-digital>. Acesso em: 18 de Ago. de 2013.

ISOTEC Ambiental. Disponível em: <http://isotecambiental.com.br/frota.php>. Acesso em: 31 de Out. de 2015.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 1995. 278 p.

KONTOS, T. D.; KOMILIS, D. P.; HALVADAKIS C.P. Siting MSW landfills with a spacial multiple criteria analysis methodology. **Waste Management**. v. 25, n. 8, p. 818-832. 2005, ISSN 0956-053X. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X05001145>. Acesso em: 15 de Out. de 2013.

KORUCU, M. K.; ERDAGI, B. A criticism of applications with multi criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. **Waste Management**, v. 32, p. 2315-2323, 2012, ISSN 0956-053X. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12003029>. Acesso em: 13 de jan. de 2014.

KUMAR, S.; HASSAN, M. I. Selection of a landfill site for solid waste management: an application of AHP and spatial analyst tool. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, p. 1-12, 2013, ISSN 0255-660X. Disponível em: http://download.springer.com/static/pdf/967/art%25A10.1007%252Fs12524-011-0161-8.pdf?auth66=1390497546_400b7a3fe0e8c31a5663a57e3831b261&ext=.pdf . Acesso em 18 de dez. de 2013.

LANZA, V.C.V; CARVALHO, A.L. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário.** Belo Horizonte: FEAM, 2006. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Aterro2.pdf>. Acesso em: 24 de out. de 2010.

LONGLEY, P.A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540 p. ISBN 978-85-65837-69-9.

LORENA, L. A. N, et al. Integração de modelos de localização a sistemas de informação geográficas. **Gestão & Produção**, v. 8, p. 180-195. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v8n2/v8n2a05.pdf>>. Acesso em: 08 ago de 2011.

MALCZEWSKI, J. GIS- BASED multicriteria decision analysis: A survey of literature. **International Journal of Geographical Information Science**, vol. 20, n. 7, p. 703-726. 2006, ISSN 1365-8816. Disponível em: <http://www.spatial.redlands.edu/sds/downloads/malczewski2006_gisbasedmulticriteriadecisionanalysis.pdf>. Acesso em: 03 de Dez. de 2013.

MAPA, S.M.S.; LIMA, R.S.; MENDES, J.F.G. Localização de instalações com o auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e modelagem matemática. **XXVI ENEGEP** – Fortaleza, CE, Brasil, 2006. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr460314_8161.pdf. Acesso em: 08 de ago. De 2011.

MAPA, S.M.S.; LIMA, R.S. Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Gestão & Produção**. Vol.19 nº1. São Carlos, 2012. ISSN 0104-530X. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2012000100009. Acesso em: 08 de ago. de 2011.

MELLO, J.C.C.B.S. et al. Conceitos básicos do apoio multicritério à decisão e sua aplicação no projeto de aerodesign. **Engevista**, v. 5, n. 8, p. 22 – 35, 2003, ISSN 0100-1965 Disponível em: <http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/82/12>. Acesso em: 10 de Dez. de 2013.

MESQUITA JUNIOR, J. M. **Gestão integrada de resíduos sólidos.** Cood. Karin Segala. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. Disponível em: http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/01-girs_md1_1.pdf. Acesso em: 03 de Mar de 2012.

MOEINADDINI, M. et al. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). **Waste Management**, v. 30, p.912–920, 2010. ISSN 0956-053X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10000553>>. Acesso em: 25 de nov. de 2013.

MONTAÑO, M. et al. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternavias locacionais para implantação de aterro sanitário. Artigo Técnico. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 61-70, jan 2012, ISSN 1413-4152. Disponível em:<

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522012000100010&script=sci_arttext>. Acesso em 10 de fev. de 2014.

MONTEIRO, J. H. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Cood. Técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 03 de Mar de 2012.

MURRAY, A.T. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. **Jornal of Geographical Systems**, v. 12, p. 335-354, 2010, ISSN 1435-5950. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10109-009-0105-9#page-1>. Acesso em: 20 de fev. de 2012.

NARUO M.K. **O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando sistema de informações geográficas**. 2003. 284 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil com Ênfase em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NAS, B. et al. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v 160, p. 491–500, 2010, ISSN 0167-6369. Disponível em:< <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-008-0713-8#>>. Acesso em: 25 de nov. 2013.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; BARROS, K. R. **Guia para elaboração de projetos de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos**. Série de Publicações temáticas do CREA-PR. VOLUME II. 2009.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas, Instituto Agrônômico/EMBRAPA- Solos. Campinas. 64p. 1999.

PIEIDADE, M.; AGUIAR P. **Opções de gestão de resíduos urbanos**. Entidade reguladora dos serviços de águas e resíduos. Série Guias técnicos. ISBN: 978-989-8360-01-1. Lisboa. 2010.

RAMOS, R. A. R. Localização Industrial – um modelo espacial para o noroeste de Portugal. 2000. 300 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2000. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/DEC_RuiRamos2000.pdf. Acesso em: 23 de Nov. de 2013.

RIBEIRO, W. A. **Cooperação Federativa e a Lei de Consórcio Público** (cartilha). Brasília DF, CNM. 72 p. 2007. Disponível em: <http://acispar.com.br/Downloads/arquivos/cartilha.pdf>. Acesso em 07 de jun. 2011.

ROELOFS, M. BISSCHOP, J. AIMMS 4, The user's guide. 2015. Disponível em: http://download.aimms.com/aimms/download/manuals/AIMMS3_UG.pdf. Acesso em: 10 de Jun. de 2015.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciência e Tecnologia. 2003. Disponível em: <<http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>>. Acesso em 29 de nov. de 2013.

RUSSO, M. A. T. **Gestão Integrada de Resíduos sólidos**. Notas de aula, Universidade de São Paulo. Departamento de hidráulica. 2011.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill, 1980.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 01 de jun. 1976.

_____. Decreto-estadual nº 8.468 de 1976, aprova o regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 08 de set. 1976.

_____. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos hídricos. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 31 de dez. 1991.

_____. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período de 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 28 de dez. 1994.

_____. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Resolução SMA nº 54, de 30 de novembro de 2004. Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental no âmbito da Secretaria do Meio Ambiente. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP.

_____. Lei nº 12.300/06, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, SP, 16 de março de 2006.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. **Relatório de qualidade ambiental 2014**. Meio Ambiente Paulista [recurso eletrônico]. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Organizadores Edgar Cesar de Barros, Priscila Ferreira Capuano. Equipe técnica Nádia Gilma Beserra de Lima ... [et al.]. 1 ed. São Paulo: SMA, 2014a. 224 p. ISBN 978-85-8156-018-02, Disponível em: < http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2014/06/RQA_2014.pdf >. Acesso em: 05 de Abr de 2015.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo** [recurso eletrônico]. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, CETESB; Autores Luiz Fernandes Simas ...[et al.]; Organizadores André Luiz Fernandes Simas, Zuleica Maria de Lisboa Perez. 1 ed. São Paulo: SMA, 2014b. 350 p. ISBN 978-85-8156-020-5, Disponível em: <http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/plano-residuos-solidos-sp-2014.pdf>. Acesso em: 04 de Nov. de 2014.

SAMUELSON, P.; NORDHAUS, W. **Economics**. 13th ed. New York: McGraw Hill, 1990.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. ISBN 978-85-86238-79-6.

SANTOS, L. A; RODRIGUES, J. C. **Implementação em SIG de uma Heurística para o Estudo da Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatórios de Investigação N° 6, Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra – Portugal, 24p, 2003

SANTOS, R.F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. Editora: oficina de Textos. São Paulo, 2004. ISBN 978-85-86238-62-8.

SCHALCH, V. et al. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2002. 93 p.

ŞENER, Ş. et al. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2037-2046, 2010, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10003132>>. Acesso em: 30 de nov. de 2013.

SHARIFI, M. et al. Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill siting in Kurdistan Province, western Iran. **Waste Management**, v. 29, p. 2740–2758, 2009, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X0900138X>>. Acesso em 30 de nov. de 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2011**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. MCIDADES. SNSA. Brasília: SNIS-RS, 2013.

SUMATHI, V. R.; NATESAN, U.; SARKAR, C. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. **Waste Management**, v. 28, n. 11, p. 2146-2160, 2008, ISSN 0956-053X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X07003297>>. Acesso em 18 de Dezembro de 2013. Acesso em 30 de nov. de 2013.

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

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Solid Waste And Emergency Response. **A Waste Transfer Station: A Manual for Decision-Marking**. Washington: US EPA, 2002.

VESILJEVIĆ, T.Z. et al. GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transition Countries: A Case Study From Serbia. **Environmental Management**, v. 49, 2012. ISSN 445-458.

VILHENA, A. (Coord.) **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE). 3. ed. São Paulo, 2010. ISBN 978-85-87345-02-8.

WINSTON, W. **Operations Research Applications and Algorithms**. Thomson Brooks/Cole. 4th Edition, 2003. 1440 p.

YESILNACARAR, M. I. et al. Municipal solid waste landfill site selection for the city of Sanliurfa-Turkey: an example using MCDA integrated with GIS. **International Journal of Digital Earth**, v. 5, n. 2, p. 147_164, March 2012, ISSN 1753-8947. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17538947.2011.583993#.UwES7fl_tWU. Acesso em: 19 de ago. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fluxograma geral “*Model Builder*” para a obtenção do mapa de adequação

APÊNDICE B – Matriz de comparação par a par

INSTRUÇÕES PARA O QUESTIONÁRIO DE COMPARAÇÃO PAR A PAR

Essa pesquisa faz parte de um método de seleção de áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários. O método consiste na avaliação de critérios ambientais, sociais e econômicos que influenciam na seleção dessas áreas. Esses critérios devem ser analisados, por um painel de especialistas, que realizarão uma comparação par a par entre as variáveis com o objetivo de se conhecer o grau de importância de uma variável em relação a outra. Para tal comparação segue as instruções abaixo:

- 1- Esse exercício é composto de uma matriz de comparação composta de 11 variáveis agrupadas em critérios ambientais, sociais e econômicos.
- 2- A atribuição dos pesos deve ser realizada através da comparação entre: as variáveis dispostas nas linhas sobre as variáveis dispostas nas colunas.
- 3- A matriz deverá ser preenchida SOMENTE nas células em branco com os pesos que variam de 1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3,5,7 e 9. Sendo que 1/9 quando a variável da linha tiver o mínimo de importância comparado com a variável da coluna, 1 quando ambas as variáveis se equivalerem e 9 quando a variável da linha tiver o máximo de importância comparada a variável da coluna.

MENOS IMPORTANTE				IGUAL	MAIS IMPORTANTE			
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9

Apêndice A (I) – **Professor Doutor José Caixeta Filho:** Professor Titular junto ao Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) da Universidade de São Paulo e Coordenador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG).

			Ambientais						Sociais		Econômicos			Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Ambientais	1	Vulnerabilidade dos aquíferos	1.00	1.00	1.00	5.00	9.00	3.00	3.00	9.00	5.00	7.00	7.00	3.4753	22.777%
	2	Classe de solo	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	5.00	9.00	3.00	7.00	7.00	3.0022	19.677%
	3	Distância de recursos hídricos	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	5.00	7.00	7.00	3.00	7.00	7.00	3.32	21.760%
	4	Tipo de vegetação	0.20	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	3.00	3.00	0.9546	6.257%
	5	Uso e ocupação do solo	0.11	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.7075	4.637%
	6	Unidades de conservação	0.33	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.00	1.00	0.7818	5.124%
Sociais	7	Proximidade a centros urbanos	0.33	0.20	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	5.00	3.00	3.00	1.0231	6.706%
	8	Distância de aeródromos	0.11	0.11	0.14	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	3.00	1.00	0.4164	2.729%
Econômicos	9	Declividade do terreno	0.20	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	0.20	1.00	1.00	3.00	3.00	0.7463	4.891%
	10	Proximidade dos centros gerados de RSU	0.14	0.14	0.14	0.33	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	0.3945	2.585%
	11	Proximidade das rodovias	0.14	0.14	0.14	0.33	1.00	1.00	0.33	1.00	0.33	1.00	1.00	0.4359	2.857%
Σ			4.57	4.93	4.64	17.00	24.33	18.33	20.20	40.33	21.67	37.00	35.00	15.258	100%

λ -max	11.62
IC	0.062
Taxa de consistência	4%

Apêndice A (II) – **Eduardo Cuoco Léo**: Coordenador de Informações da Agência das Bacias PCJ

			Ambientais						Sociais		Econômicos			Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Ambientais	1	Vulnerabilidade dos aquíferos	1.00	5.00	1.00	5.00	7.00	7.00	9.00	3.00	5.00	5.00	3.00	3.8135	26.416%
	2	Classe de solo	0.20	1.00	0.33	1.00	1.00	3.00	0.33	1.00	3.00	3.00	1.00	0.9546	6.613%
	3	Distância de recursos hídricos	1.00	3.00	1.00	7.00	3.00	5.00	9.00	3.00	5.00	3.00	1.00	2.9118	20.170%
	4	Tipo de vegetação	0.20	1.00	0.14	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.4854	3.363%
	5	Uso e ocupação do solo	0.14	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33	0.20	0.14	0.20	0.11	0.3514	2.434%
	6	Unidades de conservação	0.14	0.33	0.20	1.00	1.00	1.00	3.00	0.33	0.20	1.00	0.33	0.5121	3.547%
Sociais	7	Distância dos centros urbanos	0.11	3.00	0.11	1.00	3.00	0.33	1.00	0.33	1.00	3.00	0.33	0.6707	4.646%
	8	Distância de aeródromos	0.33	1.00	0.33	3.00	5.00	3.00	3.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.2791	8.861%
Econômicos	9	Declividade do terreno	0.20	0.33	0.20	3.00	7.00	5.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.1394	7.892%
	10	Proximidade dos centros gerados de RSU	0.20	0.33	0.33	3.00	5.00	1.00	0.33	1.00	0.33	1.00	0.33	0.6707	4.646%
	11	Proximidade das rodovias	0.33	1.00	1.00	3.00	9.00	3.00	3.00	1.00	1.00	3.00	1.00	1.6477	11.413%
Σ			3.86	17.00	4.99	29.00	43.00	30.33	31.00	12.20	18.01	23.53	9.44	14.436	100%

λ -max	12.36
IC	0.136
Taxa de consistência	9%

Apêndice A (III) – **Professora Doutora Maria Eugênia Gimenez Boscov:** Professora titular da Universidade de São Paulo, ministra disciplinas na graduação e pós-graduação da Engenharia Civil, e de graduação na Engenharia Ambiental e na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

			Ambientais						Sociais		Econômicos			Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Ambientais	1	Vulnerabilidade dos aquíferos	1.00	3.00	3.00	9.00	1.00	1.00	9.00	3.00	7.00	3.00	5.00	3.0716	19.580%
	2	Classe de solo	0.33	1.00	0.33	7.00	0.33	0.20	7.00	1.00	5.00	1.00	3.00	1.1666	7.436%
	3	Distância de recursos hídricos	0.33	3.00	1.00	5.00	1.00	1.00	9.00	1.00	7.00	1.00	7.00	2.0135	12.835%
	4	Tipo de vegetação	0.11	0.14	0.20	1.00	0.20	0.14	1.00	0.20	1.00	0.14	3.00	0.3432	2.188%
	5	Uso e ocupação do solo	1.00	3.00	1.00	5.00	1.00	1.00	7.00	3.00	7.00	1.00	3.00	2.225	14.183%
	6	Unidades de conservação	1.00	5.00	1.00	7.00	1.00	1.00	7.00	5.00	7.00	3.00	7.00	3.0045	19.152%
Sociais	7	Distância dos centros urbanos	0.11	0.14	0.11	1.00	0.14	0.14	1.00	0.14	0.20	0.11	0.33	0.2116	1.349%
	8	Distância de aeródromos	0.33	1.00	1.00	5.00	0.33	0.20	7.00	1.00	5.00	1.00	5.00	1.3097	8.349%
Econômicos	9	Declividade do terreno	0.14	0.20	0.14	1.00	0.14	0.14	5.00	0.20	1.00	0.20	0.33	0.3328	2.122%
	10	Proximidade dos centros gerados de RSU	0.33	1.00	1.00	7.00	1.00	0.33	9.00	1.00	5.00	1.00	5.00	1.5992	10.195%
	11	Proximidade das rodovias	0.20	0.33	0.14	0.33	0.33	0.14	3.00	0.20	3.00	0.20	1.00	0.4096	2.611%
Σ			4.90	17.82	8.93	48.33	6.49	5.30	65.00	15.74	48.20	11.65	39.67	15.687	100%

λ -max	11.86
IC	0.086
Taxa de consistência	6%

Apêndice A (IV) – **Professor Doutor Homero Fonseca Filho:** Coordenador e Professor Doutor do curso de Bacharelado em Gestão Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade, ambos da Escola de Artes, Ciências e Humanidades EACH (USP/LESTE), ambos da Universidade de São Paulo.

			Ambientais						Sociais		Econômicos			Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Ambientais	1	Vulnerabilidade dos aquíferos	1.00	3.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	7.00	5.00	7.00	9.00	3.0022	19.277%
	2	Classe de solo	0.33	1.00	0.20	0.33	1.00	0.20	0.33	1.00	1.00	3.00	3.00	0.6754	4.336%
	3	Distância de recursos hídricos	1.00	5.00	1.00	1.00	3.00	3.00	5.00	5.00	7.00	7.00	9.00	3.2944	21.153%
	4	Tipo de vegetação	1.00	3.00	1.00	1.00	3.00	3.00	3.00	7.00	5.00	5.00	7.00	2.846	18.274%
	5	Uso e ocupação do solo	0.33	1.00	0.33	0.33	1.00	1.00	3.00	5.00	3.00	3.00	3.00	1.2791	8.213%
	6	Unidades de conservação	0.33	5.00	0.33	0.33	1.00	1.00	3.00	7.00	5.00	5.00	7.00	1.8094	11.618%
Sociais	7	Proximidade a centros urbanos	0.33	3.00	0.20	0.33	0.33	0.33	1.00	5.00	3.00	3.00	5.00	1.0475	6.726%
	8	Distância de aeródromos	0.14	1.00	0.20	0.14	0.20	0.14	0.20	1.00	0.20	0.20	0.33	0.2561	1.644%
Econômicos	9	Declividade do terreno	0.20	1.00	0.14	0.20	0.33	0.20	0.33	5.00	1.00	1.00	3.00	0.5659	3.633%
	10	Proximidade dos centros gerados de RSU	0.14	0.33	0.14	0.20	0.33	0.20	0.33	5.00	1.00	1.00	3.00	0.4967	3.189%
	11	Proximidade das rodovias	0.11	0.33	0.11	0.14	0.33	0.14	0.20	3.00	0.33	0.33	1.00	0.3014	1.935%
Σ			4.93	23.67	4.66	5.02	13.53	12.22	19.40	51.00	31.53	35.53	50.33	15.574	100%

λ -max	11.81
IC	0.081
Taxa de consistência	5%

Apêndice A (V) – Média das Matrizes.

			Ambientais						Sociais		Econômicos			Auto Vetor	Auto Vetor Normalizado
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Ambientais	1	Vulnerabilidade dos aquíferos	1,00	3,00	1,50	5,00	5,00	3,50	6,00	5,50	5,50	5,50	6,00	3,796018	26,004%
	2	Classe de solo	0,33	1,00	0,47	2,83	1,33	1,60	3,17	3,00	3,00	3,50	3,50	1,693353	11,600%
	3	Distância de recursos hídricos	0,67	2,14	1,00	4,00	3,00	3,50	7,50	4,00	5,50	4,50	6,00	3,114322	21,334%
	4	Tipo de vegetação	0,20	0,35	0,25	1,00	1,30	1,29	1,50	2,63	1,83	2,12	3,33	1,038097	7,111%
	5	Uso e ocupação do solo	0,20	0,75	0,33	0,77	1,00	1,00	2,83	2,80	2,79	1,30	1,78	1,063306	7,284%
	6	Unidades de conservação	0,29	0,63	0,29	0,78	1,00	1,00	3,50	3,83	3,30	2,50	3,83	1,292646	8,855%
Sociais	7	Proximidade a centros urbanos	0,17	0,32	0,13	0,67	0,35	0,29	1,00	2,12	2,30	2,28	2,17	0,665538	4,559%
	8	Distância de aeródromos	0,18	0,33	0,25	0,38	0,36	0,26	0,47	1,00	1,80	1,30	1,83	0,537654	3,683%
Econômicos	9	Declividade do terreno	0,18	0,33	0,18	0,55	0,36	0,30	0,43	0,56	1,00	1,80	1,83	0,502971	3,446%
	10	Proximidade dos centros gerados de RSU	0,18	0,29	0,22	0,47	0,77	0,40	0,44	0,77	0,56	1,00	2,33	0,518863	3,554%
	11	Proximidade das rodovias	0,17	0,29	0,17	0,30	0,56	0,26	0,46	0,55	0,55	0,43	1,00	0,374898	2,568%
Σ			3,56	9,42	4,79	16,74	15,03	13,40	27,31	26,76	28,12	26,23	33,61	14,59767	100,000%

λ -max	11,50887
IC	0,050887
Taxa de consistência	3%

APÊNDICE C – Termo de consentimento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Dados de identificação

Título do Projeto: Otimização de consórcios públicos e seleção de potenciais áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários utilizando SIG.

Pesquisador Responsável: Luciana Maria Gasparelo Spigolon

Instituição a que pertence o Pesquisador Responsável: Universidade de São Paulo

Telefones para contato: (11) 961144148 - (16) 33739604 - (16) 997888371

Nome do voluntário:

Idade: _____ anos

R.G. _____

O Sr. (ª) está sendo convidado(a) a participar do projeto de pesquisa “Otimização de consórcios públicos e seleção de potenciais áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários utilizando SIG”, de responsabilidade da pesquisadora: Luciana Maria Gasparelo Spigolon

Especificações:

- Com o intuito de identificar áreas adequadas para a instalação de aterros sanitários, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação par a par entre as variáveis pré-selecionados com o objetivo de se conhecer o grau de importância de uma variável em relação a outra.
- O método consiste em utilizar uma matriz de comparação par a par para que os especialistas possam preenchê-la indicando o grau de importância de uma variável em relação a outra utilizando uma escala de comparação. O método visa obter a opinião do especialista não causando desconforto e nem risco ao mesmo.
- Os benefícios esperados com a pesquisa é desenvolver um trabalho que sirva de suporte a decisão ao poder público para a questão da disposição final ambientalmente adequada de Resíduos Sólidos, contribuindo assim, com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- O voluntário, no caso de eventuais dúvidas acerca dos procedimentos, pode entrar em contato com o Pesquisador Responsável pelo telefone 11-961144148.
- É garantida a confidencialidade das informações geradas e a privacidade do sujeito da pesquisa

Eu, _____, RG nº _____ declaro ter sido informado e concordo em participar, como voluntário, do projeto de pesquisa acima descrito.

São Carlos, ____ de _____ de _____

Nome e assinatura

Testemunha

Informações relevantes ao pesquisador responsável:

Res. 196/96 – item IV.2: O termo de consentimento livre e esclarecido obedecerá aos seguintes requisitos:

- a) ser elaborado pelo pesquisador responsável, expressando o cumprimento de cada uma das exigências acima;
- b) ser aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa que referenda a investigação;
- c) ser assinado ou identificado por impressão dactiloscópica, por todos e cada um dos sujeitos da pesquisa ou por seus representantes legais; e
- d) ser elaborado em duas vias, sendo uma retida pelo sujeito da pesquisa ou por seu representante legal e uma arquivada pelo pesquisador.

Res. 196/96 – item IV.3:

- c) nos casos em que seja impossível registrar o consentimento livre e esclarecido, tal fato deve ser devidamente documentado, com explicação das causas da impossibilidade, e parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.

Casos especiais de consentimento:

- 1. Pacientes menores de 16 anos – deverá ser dado por um dos pais ou, na inexistência destes, pelo parente mais próximo ou responsável legal;
- 2. Paciente maior de 16 e menor de 18 anos – com a assistência de um dos pais ou responsável;
- 3. Paciente e/ou responsável analfabeto – o presente documento deverá ser lido em voz alta para o paciente e seu responsável na presença de duas testemunhas, que firmarão também o documento;
- 4. Paciente deficiente mental incapaz de manifestação de vontade – suprimento necessário da manifestação de vontade por seu representante legal.

APÊNDICE D – Mapa de adequação – Valor do raster

APÊNDICE E – Mapa de adequação – Níveis de adequação

APÊNDICE F – Cenário 1: Matriz O-D

Aterro - município	Distância (Km)
Rafard - Rafard	2.9
Rafard - Capivari	6.3
Rafard - Mombuca	16.2
Rafard - Elias Fausto	25.1
Rafard - Rio das Pedras	26.7
Rafard - Monte Mor	31.3
Rafard - Saltinho	34.0
Rafard - Santa B	38.1
Rafard - Piracicaba	42.5
Rafard - Indaiatuba	44.6
Rafard - Americana	46.4
Rafard - Hortolândia	47.4
Rafard - Sumaré	48.3
Rafard - Nova Odessa	50.5
Rafard - Salto	59.3
Rafard - Campinas	60.6
Rafard - Iracemápolis	61.7
Rafard - Paulínia	61.9
Rafard - Limeira	67.9
Rafard - Valinhos	70.6
Rafard - Itupeva	71.2
Rafard - Cosmópolis	71.5
Rafard - Charqueada	71.9
Rafard - Aguas de Sio Pedro	72.1
Rafard - Vinhedo	77.3
Rafard - Cordeirópolis	77.8
Rafard - Louveira	78.3
Rafard - São Pedro	79.7
Rafard - Rio Claro	80.0
Rafard - Artur Nogueira	80.1
Rafard - Santa Gertrudes	82.1
Rafard - Ipeúna	83.6
Rafard - Jaguariúna	84.9
Rafard - Holambra	85.7
Rafard - Itatiba	90.2
Rafard - Jundiaí	90.9
Rafard - Pedreira	92.6
Rafard - Morungaba	95.3
Rafard - Várzea Paulista	99.9
Rafard - Santo Antônio de Posse	100.8
Rafard - Campo Limpo Paulista	103.0

Rafard - Santa Maria da Serra	104.6
Rafard - Corumbataí	106.8
Rafard - Jarinu	109.0
Rafard - Amparo	109.9
Rafard - Tuiuti	110.6
Rafard - Analândia	119.5
Rafard - Atibaia	124.0
Rafard - Bragança Paulista	126.4
Rafard - Pinhalzinho	127.7
Rafard - Bom Jesus dos Perdões	133.0
Rafard - Monte Alegre do Sul	135.0
Rafard - Nazaré Paulista	143.6
Rafard - Piracaia	145.1
Rafard - Vargem	146.2
Rafard - Pedra Bela	148.4
Rafard - Joanópolis	167.0
Cordeirópolis - Cordeirópolis	6.3
Cordeirópolis - Limeira	7.9
Cordeirópolis - Santa Gertrudes	13.5
Cordeirópolis - Iracemápolis	16.0
Cordeirópolis - Rio Claro	20.2
Cordeirópolis - Artur Nogueira	33.3
Cordeirópolis - Cosmópolis	34.9
Cordeirópolis - Americana	35.0
Cordeirópolis - Santa B	37.2
Cordeirópolis - Piracicaba	38.5
Cordeirópolis - Ipeúna	40.0
Cordeirópolis - Nova Odessa	40.8
Cordeirópolis - Sumaré	45.2
Cordeirópolis - Corumbataí	46.8
Cordeirópolis - Holambra	47.7
Cordeirópolis - Paulínia	48.4
Cordeirópolis - Hortolândia	49.1
Cordeirópolis - Rio das Pedras	50.0
Cordeirópolis - Charqueada	50.6
Cordeirópolis - Saltinho	51.9
Cordeirópolis - Analândia	59.5
Cordeirópolis - Mombuca	60.3
Cordeirópolis - Monte Mor	61.7
Cordeirópolis - Campinas	61.8
Cordeirópolis - Jaguariúna	62.3
Cordeirópolis - Santo Antônio de Posse	62.4
Cordeirópolis - Aguas de Sio Pedro	64.1
Cordeirópolis - Capivari	66.5
Cordeirópolis - São Pedro	69.3
Cordeirópolis - Rafard	70.3

Cordeirópolis - Valinhos	72.6
Cordeirópolis - Pedreira	75.1
Cordeirópolis - Elias Fausto	76.9
Cordeirópolis - Vinhedo	80.7
Cordeirópolis - Indaiatuba	83.7
Cordeirópolis - Louveira	86.4
Cordeirópolis - Amparo	89.3
Cordeirópolis - Itatiba	92.2
Cordeirópolis - Santa Maria da Serra	94.0
Cordeirópolis - Morungaba	96.9
Cordeirópolis - Salto	97.7
Cordeirópolis - Jundiaí	99.0
Cordeirópolis - Itupeva	102.0
Cordeirópolis - Várzea Paulista	108.0
Cordeirópolis - Tuiuti	108.8
Cordeirópolis - Campo Limpo Paulista	111.0
Cordeirópolis - Jarinu	117.1
Cordeirópolis - Pinhalzinho	124.7
Cordeirópolis - Atibaia	125.6
Cordeirópolis - Bragança Paulista	128.0
Cordeirópolis - Monte Alegre do Sul	132.0
Cordeirópolis - Bom Jesus dos Perdões	134.6
Cordeirópolis - Nazaré Paulista	145.2
Cordeirópolis - Pedra Bela	145.4
Cordeirópolis - Piracaia	146.7
Cordeirópolis - Vargem	147.8
Cordeirópolis - Joanópolis	168.6
Indaiatuba - Indaiatuba	7.4
Indaiatuba - Elias Fausto	12.5
Indaiatuba - Monte Mor	17.5
Indaiatuba - Salto	22.1
Indaiatuba - Capivari	29.6
Indaiatuba - Rafard	33.2
Indaiatuba - Hortolândia	33.2
Indaiatuba - Itupeva	34.0
Indaiatuba - Sumaré	34.5
Indaiatuba - Campinas	36.4
Indaiatuba - Nova Odessa	39.8
Indaiatuba - Vinhedo	40.2
Indaiatuba - Mombuca	40.7
Indaiatuba - Louveira	41.1
Indaiatuba - Valinhos	42.5
Indaiatuba - Americana	46.0
Indaiatuba - Paulínia	47.7
Indaiatuba - Santa B	50.0
Indaiatuba - Rio das Pedras	51.1

Indaiatuba - Jundiaí	53.8
Indaiatuba - Itatiba	56.0
Indaiatuba - Saltinho	58.4
Indaiatuba - Jaguariúna	62.2
Indaiatuba - Piracicaba	62.3
Indaiatuba - Várzea Paulista	62.7
Indaiatuba - Cosmópolis	63.6
Indaiatuba - Campo Limpo Paulista	65.8
Indaiatuba - Morungaba	69.3
Indaiatuba - Pedreira	70.0
Indaiatuba - Holambra	71.4
Indaiatuba - Jarinu	71.9
Indaiatuba - Artur Nogueira	72.1
Indaiatuba - Limeira	72.3
Indaiatuba - Iracemápolis	75.1
Indaiatuba - Santo Antônio de Posse	79.3
Indaiatuba - Tuiuti	84.6
Indaiatuba - Cordeirópolis	85.0
Indaiatuba - Amparo	87.2
Indaiatuba - Charqueada	91.7
Indaiatuba - Aguas de Sio Pedro	91.9
Indaiatuba - Santa Gertrudes	92.3
Indaiatuba - Atibaia	92.8
Indaiatuba - Bragança Paulista	94.8
Indaiatuba - Rio Claro	99.0
Indaiatuba - São Pedro	99.5
Indaiatuba - Pinhalzinho	101.7
Indaiatuba - Bom Jesus dos Perdões	101.8
Indaiatuba - Ipeúna	103.4
Indaiatuba - Monte Alegre do Sul	109.1
Indaiatuba - Nazaré Paulista	112.4
Indaiatuba - Piracaia	113.9
Indaiatuba - Vargem	114.6
Indaiatuba - Pedra Bela	122.5
Indaiatuba - Santa Maria da Serra	124.4
Indaiatuba - Corumbataí	125.6
Indaiatuba - Joanópolis	135.4
Indaiatuba - Analândia	138.2
Iracemápolis - Iracemápolis	3.7
Iracemápolis - Limeira	15.9
Iracemápolis - Santa B	21.8
Iracemápolis - Piracicaba	23.3
Iracemápolis - Cordeirópolis	24.7
Iracemápolis - Rio Claro	29.8
Iracemápolis - Americana	30.9
Iracemápolis - Santa Gertrudes	31.9

Iracemápolis - Rio das Pedras	34.8
Iracemápolis - Nova Odessa	36.3
Iracemápolis - Saltinho	36.8
Iracemápolis - Sumaré	40.7
Iracemápolis - Artur Nogueira	43.1
Iracemápolis - Cosmópolis	43.2
Iracemápolis - Mombuca	45.1
Iracemápolis - Charqueada	45.5
Iracemápolis - Hortolândia	48.4
Iracemápolis - Ipeúna	48.8
Iracemápolis - Aguas de Sio Pedro	49.7
Iracemápolis - Capivari	52.1
Iracemápolis - Monte Mor	53.9
Iracemápolis - Rafard	55.9
Iracemápolis - Paulínia	56.7
Iracemápolis - Corumbataí	56.7
Iracemápolis - São Pedro	57.3
Iracemápolis - Holambra	57.5
Iracemápolis - Elias Fausto	65.6
Iracemápolis - Campinas	65.9
Iracemápolis - Analândia	69.4
Iracemápolis - Jaguariúna	72.1
Iracemápolis - Santo Antônio de Posse	72.2
Iracemápolis - Valinhos	76.7
Iracemápolis - Indaiatuba	77.2
Iracemápolis - Santa Maria da Serra	82.3
Iracemápolis - Vinhedo	84.8
Iracemápolis - Pedreira	84.9
Iracemápolis - Louveira	90.4
Iracemápolis - Salto	92.9
Iracemápolis - Itatiba	96.2
Iracemápolis - Amparo	99.1
Iracemápolis - Morungaba	101.0
Iracemápolis - Jundiaí	103.1
Iracemápolis - Itupeva	103.5
Iracemápolis - Várzea Paulista	112.1
Iracemápolis - Campo Limpo Paulista	115.1
Iracemápolis - Tuiuti	116.2
Iracemápolis - Jarinu	121.2
Iracemápolis - Atibaia	129.7
Iracemápolis - Bragança Paulista	132.0
Iracemápolis - Pinhalzinho	133.4
Iracemápolis - Bom Jesus dos Perdões	138.7
Iracemápolis - Monte Alegre do Sul	140.7
Iracemápolis - Nazaré Paulista	149.3
Iracemápolis - Piracaia	150.8

Iracemápolis - Vargem	151.9
Iracemápolis - Pedra Bela	154.1
Iracemápolis - Joanópolis	172.7
Jarinu - Jarinu	6.3
Jarinu - Campo Limpo Paulista	8.3
Jarinu - Várzea Paulista	11.4
Jarinu - Jundiaí	19.5
Jarinu - Atibaia	31.8
Jarinu - Louveira	34.6
Jarinu - Itatiba	36.3
Jarinu - Itupeva	39.7
Jarinu - Bom Jesus dos Perdões	40.7
Jarinu - Vinhedo	45.0
Jarinu - Morungaba	48.3
Jarinu - Valinhos	49.7
Jarinu - pragana Paulista	50.1
Jarinu - Nazaré Paulista	51.4
Jarinu - Piracaia	52.8
Jarinu - Campinas	59.3
Jarinu - Vargem	61.8
Jarinu - Tuiuti	63.9
Jarinu - Indaiatuba	65.2
Jarinu - Salto	68.8
Jarinu - Pinhalzinho	74.7
Jarinu - Hortolândia	74.8
Jarinu - Amparo	74.9
Jarinu - Joanópolis	77.0
Jarinu - Paulínia	79.2
Jarinu - Pedra Bela	80.4
Jarinu - Jaguariúna	81.0
Jarinu - Sumaré	82.5
Jarinu - Elias Fausto	84.9
Jarinu - Monte Mor	86.7
Jarinu - Nova Odessa	86.9
Jarinu - Monte Alegre do Sul	88.4
Jarinu - Pedreira	88.7
Jarinu - Holambra	91.7
Jarinu - Americana	92.3
Jarinu - Cosmópolis	95.1
Jarinu - Santo Antônio de Posse	98.0
Jarinu - Santa B	100.3
Jarinu - Capivari	102.0
Jarinu - Artur Nogueira	104.0
Jarinu - Rafard	105.6
Jarinu - Limeira	110.7
Jarinu - Mombuca	113.1

Jarinu - Iracemópolis	123.3
Jarinu - Cordeirópolis	123.5
Jarinu - Rio das Pedras	123.5
Jarinu - Piracicaba	124.6
Jarinu - Santa Gertrudes	130.7
Jarinu - Saltinho	130.8
Jarinu - Rio Claro	137.4
Jarinu - Charqueada	151.5
Jarinu - Aguas de Sio Pedro	151.7
Jarinu - Ipeúna	157.2
Jarinu - São Pedro	159.3
Jarinu - Corumbataí	164.0
Jarinu - Analândia	176.7
Jarinu - Santa Maria da Serra	184.3
Joanópolis - Joanópolis	1.7
Joanópolis - Vargem	20.7
Joanópolis - Piracaia	22.3
Joanópolis - Bragança Paulista	38.2
Joanópolis - Bom Jesus dos Perdões	41.0
Joanópolis - Atibaia	45.4
Joanópolis - Nazaré Paulista	51.5
Joanópolis - Pinhalzinho	56.6
Joanópolis - Tuiuti	61.8
Joanópolis - Pedra Bela	62.3
Joanópolis - Jarinu	69.3
Joanópolis - Morungaba	71.1
Joanópolis - Monte Alegre do Sul	74.7
Joanópolis - Itatiba	77.2
Joanópolis - Campo Limpo Paulista	79.2
Joanópolis - Várzea Paulista	82.4
Joanópolis - Amparo	82.6
Joanópolis - Jundiaí	90.4
Joanópolis - Vinhedo	93.9
Joanópolis - Pedreira	96.5
Joanópolis - Valinhos	98.5
Joanópolis - Louveira	102.1
Joanópolis - Campinas	104.8
Joanópolis - Itupeva	107.7
Joanópolis - Santo Antônio de Posse	107.9
Joanópolis - Jaguariúna	109.5
Joanópolis - Paulínia	121.7
Joanópolis - Hortolândia	123.5
Joanópolis - Holambra	124.3
Joanópolis - Indaiatuba	124.7
Joanópolis - Sumaré	130.9
Joanópolis - Nova Odessa	135.3

Joanópolis - Monte Mor	135.5
Joanópolis - Salto	136.9
Joanópolis - Cosmópolis	137.1
Joanópolis - Artur Nogueira	137.2
Joanópolis - Americana	140.7
Joanópolis - Elias Fausto	144.4
Joanópolis - Santa B	148.7
Joanópolis - Capivari	157.0
Joanópolis - Limeira	159.1
Joanópolis - Rafard	160.5
Joanópolis - Mombuca	168.0
Joanópolis - Iracemápolis	171.7
Joanópolis - Cordeirópolis	171.9
Joanópolis - Piracicaba	175.0
Joanópolis - Rio das Pedras	178.5
Joanópolis - Santa Gertrudes	179.1
Joanópolis - Saltinho	185.8
Joanópolis - Rio Claro	185.8
Joanópolis - Charqueada	201.9
Joanópolis - Aguas de Sio Pedro	202.1
Joanópolis - Ipeúna	205.6
Joanópolis - São Pedro	209.7
Joanópolis - Corumbataí	212.4
Joanópolis - Analândia	225.1
Joanópolis - Santa Maria da Serra	234.7
Pedra Bela - Pedra Bela	6.4
Pedra Bela - Pinhalzinho	27.4
Pedra Bela - Bragança Paulista	37.0
Pedra Bela - Tuiuti	44.7
Pedra Bela - Monte Alegre do Sul	45.5
Pedra Bela - Vargem	50.6
Pedra Bela - Morungaba	60.0
Pedra Bela - Atibaia	62.5
Pedra Bela - Amparo	64.2
Pedra Bela - Piracaia	67.6
Pedra Bela - Joanópolis	71.4
Pedra Bela - Bom Jesus dos Perdões	71.4
Pedra Bela - Itatiba	75.6
Pedra Bela - Pedreira	78.1
Pedra Bela - Jarinu	80.8
Pedra Bela - Nazaré Paulista	82.1
Pedra Bela - Santo Antônio de Posse	89.5
Pedra Bela - Jaguariúna	91.1
Pedra Bela - Campo Limpo Paulista	92.3
Pedra Bela - Vinhedo	92.4
Pedra Bela - Valinhos	93.0

Pedra Bela - Campinas	95.4
Pedra Bela - Várzea Paulista	95.5
Pedra Bela - Louveira	102.2
Pedra Bela - Jundiaí	102.9
Pedra Bela - Holambra	105.8
Pedra Bela - Paulínia	112.6
Pedra Bela - Hortolândia	114.2
Pedra Bela - Artur Nogueira	118.7
Pedra Bela - Itupeva	119.3
Pedra Bela - Cosmópolis	120.4
Pedra Bela - Sumaré	121.5
Pedra Bela - Indaiatuba	121.9
Pedra Bela - Nova Odessa	125.9
Pedra Bela - Monte Mor	126.1
Pedra Bela - Americana	131.3
Pedra Bela - Salto	135.9
Pedra Bela - Elias Fausto	139.2
Pedra Bela - Santa B	139.3
Pedra Bela - Limeira	147.0
Pedra Bela - Capivari	147.6
Pedra Bela - Rafard	151.1
Pedra Bela - Cordeirópolis	156.2
Pedra Bela - Mombuca	158.6
Pedra Bela - Iracemápolis	159.4
Pedra Bela - Santa Gertrudes	163.6
Pedra Bela - Piracicaba	165.6
Pedra Bela - Rio das Pedras	169.1
Pedra Bela - Rio Claro	170.3
Pedra Bela - Saltinho	176.4
Pedra Bela - Ipeúna	190.1
Pedra Bela - Charqueada	192.5
Pedra Bela - Aguas de Sio Pedro	192.7
Pedra Bela - Corumbataí	196.9
Pedra Bela - São Pedro	200.3
Pedra Bela - Analândia	209.6
Pedra Bela - Santa Maria da Serra	225.3
Pedreira - Pedreira	5.0
Pedreira - Jaguariúna	8.0
Pedreira - Amparo	22.3
Pedreira - Holambra	22.7
Pedreira - Santo Antônio de Posse	27.7
Pedreira - Campinas	33.3
Pedreira - Artur Nogueira	36.5
Pedreira - Paulínia	36.6
Pedreira - Cosmópolis	37.3
Pedreira - Tuiuti	39.9

Pedreira - Valinhos	43.2
Pedreira - Morungaba	46.0
Pedreira - Hortolândia	46.8
Pedreira - Vinhedo	51.3
Pedreira - Sumaré	52.6
Pedreira - Pinhalzinho	55.8
Pedreira - Nova Odessa	57.0
Pedreira - Americana	59.0
Pedreira - Itatiba	59.4
Pedreira - Louveira	59.6
Pedreira - Indaiatuba	61.7
Pedreira - Monte Mor	62.2
Pedreira - Monte Alegre do Sul	63.1
Pedreira - Bragança Paulista	63.9
Pedreira - Limeira	64.8
Pedreira - Santa B	67.1
Pedreira - Cordeirópolis	73.9
Pedreira - Jundiaí	74.0
Pedreira - Elias Fausto	75.3
Pedreira - Salto	75.7
Pedreira - Pedra Bela	76.5
Pedreira - Itupeva	77.1
Pedreira - Iracemápolis	77.2
Pedreira - Santa Gertrudes	81.4
Pedreira - Várzea Paulista	83.0
Pedreira - Jarinu	83.1
Pedreira - Vargem	83.3
Pedreira - Capivari	83.7
Pedreira - Campo Limpo Paulista	86.0
Pedreira - Rafard	87.3
Pedreira - Rio Claro	88.1
Pedreira - Atibaia	89.1
Pedreira - Piracicaba	93.5
Pedreira - Piracaia	94.2
Pedreira - Mombuca	94.8
Pedreira - Rio das Pedras	97.3
Pedreira - Bom Jesus dos Perdões	98.0
Pedreira - Joanópolis	104.1
Pedreira - Saltinho	105.7
Pedreira - Ipeúna	107.8
Pedreira - Nazaré Paulista	108.6
Pedreira - Corumbataí	114.7
Pedreira - Charqueada	118.3
Pedreira - Aguas de Sio Pedro	120.5
Pedreira - Analândia	127.4
Pedreira - São Pedro	128.1

Pedreira - Santa Maria da Serra	153.1
Rio das Pedras AP - Mombuca	3.8
Rio das Pedras AP - Rio das Pedras	7.7
Rio das Pedras AP - Capivari	14.1
Rio das Pedras AP - Saltinho	15.0
Rio das Pedras AP - Rafard	17.3
Rio das Pedras AP - Piracicaba	24.5
Rio das Pedras AP - Elias Fausto	33.4
Rio das Pedras AP - Santa B	36.7
Rio das Pedras AP - Monte Mor	39.6
Rio das Pedras AP - Iracemópolis	45.2
Rio das Pedras AP - Americana	45.3
Rio das Pedras AP - Nova Odessa	49.2
Rio das Pedras AP - Limeira	52.8
Rio das Pedras AP - Indaiatuba	52.9
Rio das Pedras AP - Sumaré	53.6
Rio das Pedras AP - Charqueada	54.0
Rio das Pedras AP - Aguas de Sio Pedro	54.2
Rio das Pedras AP - Hortolândia	55.8
Rio das Pedras AP - São Pedro	61.8
Rio das Pedras AP - Rio Claro	62.1
Rio das Pedras AP - Cordeirópolis	62.7
Rio das Pedras AP - Santa Gertrudes	64.2
Rio das Pedras AP - Ipeúna	65.7
Rio das Pedras AP - Salto	67.6
Rio das Pedras AP - Campinas	68.9
Rio das Pedras AP - Paulínia	69.6
Rio das Pedras AP - Cosmópolis	70.5
Rio das Pedras AP - Valinhos	78.9
Rio das Pedras AP - Artur Nogueira	79.0
Rio das Pedras AP - Itupeva	79.5
Rio das Pedras AP - Vinhedo	85.6
Rio das Pedras AP - Louveira	86.6
Rio das Pedras AP - Santa Maria da Serra	86.8
Rio das Pedras AP - Corumbataí	89.0
Rio das Pedras AP - Holambra	90.0
Rio das Pedras AP - Jaguariúna	93.2
Rio das Pedras AP - Itatiba	98.5
Rio das Pedras AP - Jundiaí	99.2
Rio das Pedras AP - Pedreira	101.0
Rio das Pedras AP - Analândia	101.6
Rio das Pedras AP - Morungaba	103.6
Rio das Pedras AP - Santo Antônio de Posse	104.8
Rio das Pedras AP - Várzea Paulista	108.2
Rio das Pedras AP - Campo Limpo Paulista	111.3
Rio das Pedras AP - Jarinu	117.3

Rio das Pedras AP - Amparo	118.2
Rio das Pedras AP - Tuiuti	118.9
Rio das Pedras AP - Atibaia	132.3
Rio das Pedras AP - Bragança Paulista	134.7
Rio das Pedras AP - Pinhalzinho	136.0
Rio das Pedras AP - Bom Jesus dos Perdões	141.3
Rio das Pedras AP - Monte Alegre do Sul	143.3
Rio das Pedras AP - Nazaré Paulista	151.9
Rio das Pedras AP - Piracaia	153.4
Rio das Pedras AP - Vargem	154.5
Rio das Pedras AP - Pedra Bela	156.7
Rio das Pedras AP - Joanópolis	175.3
Salto - Salto	5.2
Salto - Indaiatuba	12.4
Salto - Elias Fausto	31.4
Salto - Monte Mor	35.7
Salto - Itupeva	36.5
Salto - Campinas	39.3
Salto - Vinhedo	43.1
Salto - Louveira	44.1
Salto - Valinhos	45.4
Salto - Capivari	48.5
Salto - Hortolândia	51.1
Salto - Rafard	52.0
Salto - Sumaré	52.7
Salto - Jundiaí	55.4
Salto - Paulínia	56.6
Salto - Nova Odessa	57.9
Salto - Itatiba	59.0
Salto - Mombuca	59.6
Salto - Americana	64.1
Salto - Várzea Paulista	64.4
Salto - Jaguariúna	65.2
Salto - Campo Limpo Paulista	67.4
Salto - Santa B	68.1
Salto - Rio das Pedras	70.0
Salto - Morungaba	72.3
Salto - Pedreira	72.9
Salto - Cosmópolis	73.2
Salto - Jarinu	73.4
Salto - Holambra	75.9
Salto - Saltinho	77.3
Salto - Piracicaba	81.1
Salto - Artur Nogueira	82.1
Salto - Santo Antônio de Posse	82.2
Salto - Tuiuti	87.5

Salto - Limeira	87.7
Salto - Amparo	90.2
Salto - Iracemápolis	93.3
Salto - Atibaia	95.8
Salto - Bragança Paulista	97.7
Salto - Cordeirópolis	100.4
Salto - Pinhalzinho	104.7
Salto - Bom Jesus dos Perdões	104.7
Salto - Santa Gertrudes	107.6
Salto - Charqueada	110.6
Salto - Aguas de Sio Pedro	110.7
Salto - Monte Alegre do Sul	112.0
Salto - Rio Claro	114.3
Salto - Nazaré Paulista	115.4
Salto - Piracaia	116.8
Salto - Vargem	117.6
Salto - São Pedro	118.4
Salto - Ipeúna	122.3
Salto - Pedra Bela	125.4
Salto - Joanópolis	138.4
Salto - Corumbataí	140.9
Salto - Santa Maria da Serra	143.3
Salto - Analândia	153.6
Santa Maria da Serra - Santa Maria da Serra	2.0
Santa Maria da Serra - São Pedro	28.2
Santa Maria da Serra - Aguas de Sio Pedro	33.4
Santa Maria da Serra - Charqueada	44.5
Santa Maria da Serra - Ipeúna	58.1
Santa Maria da Serra - Piracicaba	72.6
Santa Maria da Serra - Rio Claro	75.1
Santa Maria da Serra - Santa Gertrudes	81.9
Santa Maria da Serra - Iracemápolis	84.2
Santa Maria da Serra - Saltinho	87.4
Santa Maria da Serra - Rio das Pedras	89.5
Santa Maria da Serra - Cordeirópolis	90.4
Santa Maria da Serra - Corumbataí	92.7
Santa Maria da Serra - Limeira	97.1
Santa Maria da Serra - Santa B	97.9
Santa Maria da Serra - Mombuca	100.7
Santa Maria da Serra - Analândia	105.3
Santa Maria da Serra - Americana	106.5
Santa Maria da Serra - Capivari	108.4
Santa Maria da Serra - Nova Odessa	110.4
Santa Maria da Serra - Rafard	112.2
Santa Maria da Serra - Sumaré	114.8
Santa Maria da Serra - Elias Fausto	121.9

Santa Maria da Serra - Hortolândia	122.5
Santa Maria da Serra - Monte Mor	124.2
Santa Maria da Serra - Artur Nogueira	124.3
Santa Maria da Serra - Cosmópolis	124.5
Santa Maria da Serra - Paulínia	130.8
Santa Maria da Serra - Holambra	138.8
Santa Maria da Serra - Campinas	140.0
Santa Maria da Serra - Indaiatuba	141.4
Santa Maria da Serra - Valinhos	150.1
Santa Maria da Serra - Jaguariúna	153.3
Santa Maria da Serra - Santo Antônio de Posse	153.5
Santa Maria da Serra - Salto	156.2
Santa Maria da Serra - Vinhedo	158.2
Santa Maria da Serra - Louveira	163.9
Santa Maria da Serra - Pedreira	166.2
Santa Maria da Serra - Itupeva	168.0
Santa Maria da Serra - Itatiba	169.7
Santa Maria da Serra - Jundiá	174.2
Santa Maria da Serra - Morungaba	174.8
Santa Maria da Serra - Amparo	180.4
Santa Maria da Serra - Várzea Paulista	183.2
Santa Maria da Serra - Campo Limpo Paulista	186.2
Santa Maria da Serra - Tuiuti	190.0
Santa Maria da Serra - Jarinu	192.2
Santa Maria da Serra - Atibaia	203.5
Santa Maria da Serra - Bragança Paulista	205.8
Santa Maria da Serra - Pinhalzinho	207.2
Santa Maria da Serra - Bom Jesus dos Perdões	212.5
Santa Maria da Serra - Monte Alegre do Sul	214.5
Santa Maria da Serra - Nazaré Paulista	223.1
Santa Maria da Serra - Piracaia	224.6
Santa Maria da Serra - Vargem	225.7
Santa Maria da Serra - Pedra Bela	227.9
Santa Maria da Serra - Joanópolis	246.5
Santa Barbara dOeste - Santa B	4.1
Santa Barbara dOeste - Americana	13.1
Santa Barbara dOeste - Nova Odessa	18.5
Santa Barbara dOeste - Iracemápolis	21.4
Santa Barbara dOeste - Sumaré	22.9
Santa Barbara dOeste - Limeira	29.3
Santa Barbara dOeste - Piracicaba	29.7
Santa Barbara dOeste - Hortolândia	30.7
Santa Barbara dOeste - Rio das Pedras	31.9
Santa Barbara dOeste - Capivari	35.6

Santa Barbara dOeste - Monte Mor	36.2
Santa Barbara dOeste - Cosmópolis	38.3
Santa Barbara dOeste - Paulínia	38.9
Santa Barbara dOeste - Cordeirópolis	39.2
Santa Barbara dOeste - Rafard	39.4
Santa Barbara dOeste - Saltinho	40.4
Santa Barbara dOeste - Mombuca	42.3
Santa Barbara dOeste - Santa Gertrudes	46.4
Santa Barbara dOeste - Artur Nogueira	46.9
Santa Barbara dOeste - Rio Claro	47.6
Santa Barbara dOeste - Campinas	48.2
Santa Barbara dOeste - Elias Fausto	49.1
Santa Barbara dOeste - Charqueada	56.6
Santa Barbara dOeste - Aguas de Sio Pedro	56.8
Santa Barbara dOeste - Holambra	57.9
Santa Barbara dOeste - Valinhos	58.9
Santa Barbara dOeste - Indaiatuba	59.5
Santa Barbara dOeste - Jaguariúna	63.6
Santa Barbara dOeste - São Pedro	64.4
Santa Barbara dOeste - Ipeúna	66.5
Santa Barbara dOeste - Vinhedo	67.0
Santa Barbara dOeste - Santo Antônio de Posse	72.6
Santa Barbara dOeste - Louveira	72.7
Santa Barbara dOeste - Corumbataí	74.4
Santa Barbara dOeste - Salto	75.2
Santa Barbara dOeste - Pedreira	75.5
Santa Barbara dOeste - Itatiba	78.5
Santa Barbara dOeste - Morungaba	83.2
Santa Barbara dOeste - Jundiaí	85.3
Santa Barbara dOeste - Itupeva	85.8
Santa Barbara dOeste - Analândia	87.1
Santa Barbara dOeste - Santa Maria da Serra	89.4
Santa Barbara dOeste - Amparo	92.7
Santa Barbara dOeste - Várzea Paulista	94.3
Santa Barbara dOeste - Campo Limpo Paulista	97.3
Santa Barbara dOeste - Tuiuti	98.5
Santa Barbara dOeste - Jarinu	103.4
Santa Barbara dOeste - Atibaia	112.0
Santa Barbara dOeste - Bragança Paulista	114.3
Santa Barbara dOeste - Pinhalzinho	115.6
Santa Barbara dOeste - Bom Jesus dos Perdões	120.9
Santa Barbara dOeste - Monte Alegre do Sul	123.0
Santa Barbara dOeste - Nazaré Paulista	131.6
Santa Barbara dOeste - Piracaia	133.0

Santa Barbara dOeste - Vargem	134.1
Santa Barbara dOeste - Pedra Bela	136.4
Santa Barbara dOeste - Joanópolis	154.9
São Pedro - Santa Maria da Serra	12.3
São Pedro - São Pedro	15.2
São Pedro - Aguas de Sio Pedro	20.4
São Pedro - Charqueada	31.6
São Pedro - Ipeúna	45.1
São Pedro - Piracicaba	59.6
São Pedro - Rio Claro	62.1
São Pedro - Santa Gertrudes	68.9
São Pedro - Iracemópolis	71.3
São Pedro - Saltinho	74.5
São Pedro - Rio das Pedras	76.6
São Pedro - Cordeirópolis	77.4
São Pedro - Corumbataí	79.8
São Pedro - Limeira	84.1
São Pedro - Santa B	84.9
São Pedro - Mombuca	87.7
São Pedro - Analândia	92.3
São Pedro - Americana	93.6
São Pedro - Capivari	95.5
São Pedro - Nova Odessa	97.4
São Pedro - Rafard	99.3
São Pedro - Sumaré	101.8
São Pedro - Elias Fausto	109.0
São Pedro - Hortolândia	109.6
São Pedro - Monte Mor	111.2
São Pedro - Artur Nogueira	111.4
São Pedro - Cosmópolis	111.5
São Pedro - Paulínia	117.8
São Pedro - Holambra	125.8
São Pedro - Campinas	127.1
São Pedro - Indaiatuba	128.5
São Pedro - Valinhos	137.1
São Pedro - Jaguariúna	140.4
São Pedro - Santo Antônio de Posse	140.5
São Pedro - Salto	143.2
São Pedro - Vinhedo	145.2
São Pedro - Louveira	150.9
São Pedro - Pedreira	153.2
São Pedro - Itupeva	155.1
São Pedro - Itatiba	156.7
São Pedro - Jundiaí	161.3
São Pedro - Morungaba	161.8
São Pedro - Amparo	167.4

São Pedro - Várzea Paulista	170.3
São Pedro - Campo Limpo Paulista	173.3
São Pedro - Tuiuti	177.1
São Pedro - Jarinu	179.3
São Pedro - Atibaia	190.5
São Pedro - Bragança Paulista	192.9
São Pedro - Pinhalzinho	194.2
São Pedro - Bom Jesus dos Perdões	199.5
São Pedro - Monte Alegre do Sul	201.5
São Pedro - Nazaré Paulista	210.1
São Pedro - Piracaia	211.6
São Pedro - Vargem	212.7
São Pedro - Pedra Bela	214.9
São Pedro - Joanópolis	233.5
Vargem - Vargem	1.6
Vargem - Bragança Paulista	19.1
Vargem - Joanópolis	22.4
Vargem - Atibaia	37.2
Vargem - Pinhalzinho	37.5
Vargem - Piracaia	42.1
Vargem - Tuiuti	42.7
Vargem - Pedra Bela	43.3
Vargem - Bom Jesus dos Perdões	46.1
Vargem - Morungaba	52.0
Vargem - Jarinu	55.5
Vargem - Monte Alegre do Sul	55.6
Vargem - Nazaré Paulista	56.7
Vargem - Itatiba	58.1
Vargem - Amparo	63.6
Vargem - Campo Limpo Paulista	67.0
Vargem - Várzea Paulista	70.2
Vargem - Vinhedo	74.8
Vargem - Pedreira	77.4
Vargem - Jundiaí	77.6
Vargem - Valinhos	79.4
Vargem - Louveira	84.7
Vargem - Campinas	85.7
Vargem - Santo Antônio de Posse	88.8
Vargem - Jaguariúna	90.5
Vargem - Itupeva	93.9
Vargem - Paulínia	102.6
Vargem - Hortolândia	104.5
Vargem - Holambra	105.2
Vargem - Indaiatuba	105.7
Vargem - Sumaré	111.8
Vargem - Nova Odessa	116.2

Vargem - Monte Mor	116.4
Vargem - Cosmópolis	118.0
Vargem - Artur Nogueira	118.1
Vargem - Salto	120.3
Vargem - Americana	121.6
Vargem - Elias Fausto	125.4
Vargem - Santa B	129.6
Vargem - Capivari	137.9
Vargem - Limeira	140.1
Vargem - Rafard	141.4
Vargem - Mombuca	149.0
Vargem - Iracemópolis	152.7
Vargem - Cordeirópolis	152.8
Vargem - Piracicaba	156.0
Vargem - Rio das Pedras	159.4
Vargem - Santa Gertrudes	160.0
Vargem - Saltinho	166.7
Vargem - Rio Claro	166.7
Vargem - Charqueada	182.9
Vargem - Aguas de Sio Pedro	183.0
Vargem - Ipeúna	186.5
Vargem - São Pedro	190.6
Vargem - Corumbataí	193.4
Vargem - Analândia	206.0
Vargem - Santa Maria da Serra	215.6

APÊNDICE G- Cenário 2: Matriz O-D

Aterro - município	Distância (Km)
Joanópolis - Joanópolis	1.7
Joanópolis - Vargem	20.7
Joanópolis - Piracaia	22.3
Joanópolis - Bragança Paulista	38.2
Joanópolis - Bom Jesus dos Perdões	41.0
Joanópolis - Atibaia	45.4
Joanópolis - Nazaré Paulista	51.5
Joanópolis - Pinhalzinho	56.6
Joanópolis - Tuiuti	61.8
Joanópolis - Pedra Bela	62.3
Joanópolis - Jarinu	69.3
Joanópolis - Morungaba	71.1
Joanópolis - Monte Alegre do Sul	74.7
Joanópolis - Itatiba	77.2
Joanópolis - Campo Limpo Paulista	79.2
Joanópolis - Várzea Paulista	82.4
Joanópolis - Amparo	82.6
Joanópolis - Jundiaí	90.4
Joanópolis - Vinhedo	93.9
Joanópolis - Pedreira	96.5
Joanópolis - Valinhos	98.5
Joanópolis - Louveira	102.1
Joanópolis - Campinas	104.8
Joanópolis - Itupeva	107.7
Joanópolis - Santo Antônio de Posse	107.9
Joanópolis - Jaguariúna	109.5
Joanópolis - Paulínia	121.7
Joanópolis - Hortolândia	123.5
Joanópolis - Holambra	124.3
Joanópolis - Indaiatuba	124.7
Joanópolis - Sumaré	130.9
Joanópolis - Nova Odessa	135.3
Joanópolis - Monte Mor	135.5
Joanópolis - Salto	136.9
Joanópolis - Cosmópolis	137.1
Joanópolis - Artur Nogueira	137.2
Joanópolis - Americana	140.7
Joanópolis - Elias Fausto	144.4
Joanópolis - Santa B	148.7
Joanópolis - Capivari	157.0

Joanópolis - Limeira	159.1
Joanópolis - Rafard	160.5
Joanópolis - Mombuca	168.0
Joanópolis - Iracemópolis	171.7
Joanópolis - Cordeirópolis	171.9
Joanópolis - Piracicaba	175.0
Joanópolis - Rio das Pedras	178.5
Joanópolis - Santa Gertrudes	179.1
Joanópolis - Saltinho	185.8
Joanópolis - Rio Claro	185.8
Joanópolis - Charqueada	201.9
Joanópolis - Aguas de Sio Pedro	202.1
Joanópolis - Ipeúna	205.6
Joanópolis - São Pedro	209.7
Joanópolis - Corumbataí	212.4
Joanópolis - Analândia	225.1
Joanópolis - Santa Maria da Serra	234.7
Pedra Bela - Pedra Bela	6.4
Pedra Bela - Pinhalzinho	27.4
Pedra Bela - Bragança Paulista	37.0
Pedra Bela - Tuiuti	44.7
Pedra Bela - Monte Alegre do Sul	45.5
Pedra Bela - Vargem	50.6
Pedra Bela - Morungaba	60.0
Pedra Bela - Atibaia	62.5
Pedra Bela - Amparo	64.2
Pedra Bela - Piracaia	67.6
Pedra Bela - Joanópolis	71.4
Pedra Bela - Bom Jesus dos Perdões	71.4
Pedra Bela - Itatiba	75.6
Pedra Bela - Pedreira	78.1
Pedra Bela - Jarinu	80.8
Pedra Bela - Nazaré Paulista	82.1
Pedra Bela - Santo Antônio de Posse	89.5
Pedra Bela - Jaguariúna	91.1
Pedra Bela - Campo Limpo Paulista	92.3
Pedra Bela - Vinhedo	92.4
Pedra Bela - Valinhos	93.0
Pedra Bela - Campinas	95.4
Pedra Bela - Várzea Paulista	95.5
Pedra Bela - Louveira	102.2
Pedra Bela - Jundiaí	102.9
Pedra Bela - Holambra	105.8
Pedra Bela - Paulínia	112.6
Pedra Bela - Hortolândia	114.2
Pedra Bela - Artur Nogueira	118.7

Pedra Bela - Itupeva	119.3
Pedra Bela - Cosmópolis	120.4
Pedra Bela - Sumaré	121.5
Pedra Bela - Indaiatuba	121.9
Pedra Bela - Nova Odessa	125.9
Pedra Bela - Monte Mor	126.1
Pedra Bela - Americana	131.3
Pedra Bela - Salto	135.9
Pedra Bela - Elias Fausto	139.2
Pedra Bela - Santa B	139.3
Pedra Bela - Limeira	147.0
Pedra Bela - Capivari	147.6
Pedra Bela - Rafard	151.1
Pedra Bela - Cordeirópolis	156.2
Pedra Bela - Mombuca	158.6
Pedra Bela - Iracemópolis	159.4
Pedra Bela - Santa Gertrudes	163.6
Pedra Bela - Piracicaba	165.6
Pedra Bela - Rio das Pedras	169.1
Pedra Bela - Rio Claro	170.3
Pedra Bela - Saltinho	176.4
Pedra Bela - Ipeúna	190.1
Pedra Bela - Charqueada	192.5
Pedra Bela - Aguas de Sio Pedro	192.7
Pedra Bela - Corumbataí	196.9
Pedra Bela - São Pedro	200.3
Pedra Bela - Analândia	209.6
Pedra Bela - Santa Maria da Serra	225.3
Pedreira - Pedreira	5.0
Pedreira - Jaguariúna	8.0
Pedreira - Amparo	22.3
Pedreira - Holambra	22.7
Pedreira - Santo Antônio de Posse	27.7
Pedreira - Campinas	33.3
Pedreira - Artur Nogueira	36.5
Pedreira - Paulínia	36.6
Pedreira - Cosmópolis	37.3
Pedreira - Tuiuti	39.9
Pedreira - Valinhos	43.2
Pedreira - Morungaba	46.0
Pedreira - Hortolândia	46.8
Pedreira - Vinhedo	51.3
Pedreira - Sumaré	52.6
Pedreira - Pinhalzinho	55.8
Pedreira - Nova Odessa	57.0
Pedreira - Americana	59.0

Pedreira - Itatiba	59.4
Pedreira - Louveira	59.6
Pedreira - Indaiatuba	61.7
Pedreira - Monte Mor	62.2
Pedreira - Monte Alegre do Sul	63.1
Pedreira - Bragança Paulista	63.9
Pedreira - Limeira	64.8
Pedreira - Santa B	67.1
Pedreira - Cordeirópolis	73.9
Pedreira - Jundiaí	74.0
Pedreira - Elias Fausto	75.3
Pedreira - Salto	75.7
Pedreira - Pedra Bela	76.5
Pedreira - Itupeva	77.1
Pedreira - Iracemápolis	77.2
Pedreira - Santa Gertrudes	81.4
Pedreira - Várzea Paulista	83.0
Pedreira - Jarinu	83.1
Pedreira - Vargem	83.3
Pedreira - Capivari	83.7
Pedreira - Campo Limpo Paulista	86.0
Pedreira - Rafard	87.3
Pedreira - Rio Claro	88.1
Pedreira - Atibaia	89.1
Pedreira - Piracicaba	93.5
Pedreira - Piracaia	94.2
Pedreira - Mombuca	94.8
Pedreira - Rio das Pedras	97.3
Pedreira - Bom Jesus dos Perdões	98.0
Pedreira - Joanópolis	104.1
Pedreira - Saltinho	105.7
Pedreira - Ipeúna	107.8
Pedreira - Nazaré Paulista	108.6
Pedreira - Corumbataí	114.7
Pedreira - Charqueada	118.3
Pedreira - Aguas de Sio Pedro	120.5
Pedreira - Analândia	127.4
Pedreira - São Pedro	128.1
Pedreira - Santa Maria da Serra	153.1
Rafard - Rafard	2.9
Rafard - Capivari	6.3
Rafard - Mombuca	16.2
Rafard - Elias Fausto	25.1
Rafard - Rio das Pedras	26.7
Rafard - Monte Mor	31.3
Rafard - Saltinho	34.0

Rafard - Santa B	38.1
Rafard - Piracicaba	42.5
Rafard - Indaiatuba	44.6
Rafard - Americana	46.4
Rafard - Hortolândia	47.4
Rafard - Sumaré	48.3
Rafard - Nova Odessa	50.5
Rafard - Salto	59.3
Rafard - Campinas	60.6
Rafard - Iracemápolis	61.7
Rafard - Paulínia	61.9
Rafard - Limeira	67.9
Rafard - Valinhos	70.6
Rafard - Itupeva	71.2
Rafard - Cosmópolis	71.5
Rafard - Charqueada	71.9
Rafard - Aguas de Sio Pedro	72.1
Rafard - Vinhedo	77.3
Rafard - Cordeirópolis	77.8
Rafard - Louveira	78.3
Rafard - São Pedro	79.7
Rafard - Rio Claro	80.0
Rafard - Artur Nogueira	80.1
Rafard - Santa Gertrudes	82.1
Rafard - Ipelna	83.6
Rafard - Jaguariúna	84.9
Rafard - Holambra	85.7
Rafard - Itatiba	90.2
Rafard - Jundiaí	90.9
Rafard - Pedreira	92.6
Rafard - Morungaba	95.3
Rafard - Várzea Paulista	99.9
Rafard - Santo Antônio de Posse	100.8
Rafard - Campo Limpo Paulista	103.0
Rafard - Santa Maria da Serra	104.6
Rafard - Corumbataí	106.8
Rafard - Jarinu	109.0
Rafard - Amparo	109.9
Rafard - Tuiuti	110.6
Rafard - Analândia	119.5
Rafard - Atibaia	124.0
Rafard - Bragança Paulista	126.4
Rafard - Pinhalzinho	127.7
Rafard - Bom Jesus dos Perdões	133.0
Rafard - Monte Alegre do Sul	135.0
Rafard - Nazaré Paulista	143.6

Rafard - Piracaia	145.1
Rafard - Vargem	146.2
Rafard - Pedra Bela	148.4
Rafard - Joanópolis	167.0
Rio das Pedras - Mombuca	3.8
Rio das Pedras - Rio das Pedras	7.7
Rio das Pedras - Capivari	14.1
Rio das Pedras - Saltinho	15.0
Rio das Pedras - Rafard	17.3
Rio das Pedras - Piracicaba	24.5
Rio das Pedras - Elias Fausto	33.4
Rio das Pedras - Santa B	36.7
Rio das Pedras - Monte Mor	39.6
Rio das Pedras - Iracemópolis	45.2
Rio das Pedras - Americana	45.3
Rio das Pedras - Nova Odessa	49.2
Rio das Pedras - Limeira	52.8
Rio das Pedras - Indaiatuba	52.9
Rio das Pedras - Sumaré	53.6
Rio das Pedras - Charqueada	54.0
Rio das Pedras - Aguas de Sio Pedro	54.2
Rio das Pedras - Hortolândia	55.8
Rio das Pedras - São Pedro	61.8
Rio das Pedras - Rio Claro	62.1
Rio das Pedras - Cordeirópolis	62.7
Rio das Pedras - Santa Gertrudes	64.2
Rio das Pedras - Ipeúna	65.7
Rio das Pedras - Salto	67.6
Rio das Pedras - Campinas	68.9
Rio das Pedras - Paulínia	69.6
Rio das Pedras - Cosmópolis	70.5
Rio das Pedras - Valinhos	78.9
Rio das Pedras - Artur Nogueira	79.0
Rio das Pedras - Itupeva	79.5
Rio das Pedras - Vinhedo	85.6
Rio das Pedras - Louveira	86.6
Rio das Pedras - Santa Maria da Serra	86.8
Rio das Pedras - Corumbataí	89.0
Rio das Pedras - Holambra	90.0
Rio das Pedras - Jaguariúna	93.2
Rio das Pedras - Itatiba	98.5
Rio das Pedras - Jundiaí	99.2
Rio das Pedras - Pedreira	101.0
Rio das Pedras - Analândia	101.6
Rio das Pedras - Morungaba	103.6
Rio das Pedras - Santo Antônio de Posse	104.8

Rio das Pedras - Várzea Paulista	108.2
Rio das Pedras - Campo Limpo Paulista	111.3
Rio das Pedras - Jarinu	117.3
Rio das Pedras - Amparo	118.2
Rio das Pedras - Tuiuti	118.9
Rio das Pedras - Atibaia	132.3
Rio das Pedras - Bragança Paulista	134.7
Rio das Pedras - Pinhalzinho	136.0
Rio das Pedras - Bom Jesus dos Perdões	141.3
Rio das Pedras - Monte Alegre do Sul	143.3
Rio das Pedras - Nazaré Paulista	151.9
Rio das Pedras - Piracaia	153.4
Rio das Pedras - Vargem	154.5
Rio das Pedras - Pedra Bela	156.7
Rio das Pedras - Joanópolis	175.3
Salto - Salto	5.2
Salto - Indaiatuba	12.4
Salto - Elias Fausto	31.4
Salto - Monte Mor	35.7
Salto - Itupeva	36.5
Salto - Campinas	39.3
Salto - Vinhedo	43.1
Salto - Louveira	44.1
Salto - Valinhos	45.4
Salto - Capivari	48.5
Salto - Hortolândia	51.1
Salto - Rafard	52.0
Salto - Sumaré	52.7
Salto - Jundiaí	55.4
Salto - Paulínia	56.6
Salto - Nova Odessa	57.9
Salto - Itatiba	59.0
Salto - Mombuca	59.6
Salto - Americana	64.1
Salto - Várzea Paulista	64.4
Salto - Jaguariúna	65.2
Salto - Campo Limpo Paulista	67.4
Salto - Santa B	68.1
Salto - Rio das Pedras	70.0
Salto - Morungaba	72.3
Salto - Pedreira	72.9
Salto - Cosmópolis	73.2
Salto - Jarinu	73.4
Salto - Holambra	75.9
Salto - Saltinho	77.3
Salto - Piracicaba	81.1

Salto - Artur Nogueira	82.1
Salto - Santo Antônio de Posse	82.2
Salto - Tuiuti	87.5
Salto - Limeira	87.7
Salto - Amparo	90.2
Salto - Iracemópolis	93.3
Salto - Atibaia	95.8
Salto - Bragança Paulista	97.7
Salto - Cordeirópolis	100.4
Salto - Pinhalzinho	104.7
Salto - Bom Jesus dos Perdões	104.7
Salto - Santa Gertrudes	107.6
Salto - Charqueada	110.6
Salto - Aguas de Sio Pedro	110.7
Salto - Monte Alegre do Sul	112.0
Salto - Rio Claro	114.3
Salto - Nazaré Paulista	115.4
Salto - Piracaia	116.8
Salto - Vargem	117.6
Salto - São Pedro	118.4
Salto - Ipeúna	122.3
Salto - Pedra Bela	125.4
Salto - Joanópolis	138.4
Salto - Corumbataí	140.9
Salto - Santa Maria da Serra	143.3
Salto - Analândia	153.6
Santa Maria da Serra - Santa Maria da Serra	2.0
Santa Maria da Serra - São Pedro	28.2
Santa Maria da Serra - Aguas de Sio Pedro	33.4
Santa Maria da Serra - Charqueada	44.5
Santa Maria da Serra - Ipeúna	58.1
Santa Maria da Serra - Piracicaba	72.6
Santa Maria da Serra - Rio Claro	75.1
Santa Maria da Serra - Santa Gertrudes	81.9
Santa Maria da Serra - Iracemópolis	84.2
Santa Maria da Serra - Saltinho	87.4
Santa Maria da Serra - Rio das Pedras	89.5
Santa Maria da Serra - Cordeirópolis	90.4
Santa Maria da Serra - Corumbataí	92.7
Santa Maria da Serra - Limeira	97.1
Santa Maria da Serra - Santa B	97.9
Santa Maria da Serra - Mombuca	100.7
Santa Maria da Serra - anal índia	105.3
Santa Maria da Serra - Americana	106.5
Santa Maria da Serra - Capivari	108.4
Santa Maria da Serra - Nova Odessa	110.4

Santa Maria da Serra - Rafard	112.2
Santa Maria da Serra - Sumaré	114.8
Santa Maria da Serra - Elias Fausto	121.9
Santa Maria da Serra - Hortolândia	122.5
Santa Maria da Serra - Monte Mor	124.2
Santa Maria da Serra - Artur Nogueira	124.3
Santa Maria da Serra - Cosmópolis	124.5
Santa Maria da Serra - Paulínia	130.8
Santa Maria da Serra - Holambra	138.8
Santa Maria da Serra - Campinas	140.0
Santa Maria da Serra - Indaiatuba	141.4
Santa Maria da Serra - Valinhos	150.1
Santa Maria da Serra - Jaguariúna	153.3
Santa Maria da Serra - Santo Antônio de Posse	153.5
Santa Maria da Serra - Salto	156.2
Santa Maria da Serra - Vinhedo	158.2
Santa Maria da Serra - Louveira	163.9
Santa Maria da Serra - Pedreira	166.2
Santa Maria da Serra - Itupeva	168.0
Santa Maria da Serra - Itatiba	169.7
Santa Maria da Serra - Jundiaí	174.2
Santa Maria da Serra - Morungaba	174.8
Santa Maria da Serra - Amparo	180.4
Santa Maria da Serra - Várzea Paulista	183.2
Santa Maria da Serra - Campo Limpo Paulista	186.2
Santa Maria da Serra - Tuiuti	190.0
Santa Maria da Serra - Jarinu	192.2
Santa Maria da Serra - Atibaia	203.5
Santa Maria da Serra - Bragança Paulista	205.8
Santa Maria da Serra - Pinhalzinho	207.2
Santa Maria da Serra - Bom Jesus dos Perdões	212.5
Santa Maria da Serra - Monte Alegre do Sul	214.5
Santa Maria da Serra - Nazaré Paulista	223.1
Santa Maria da Serra - Piracaia	224.6
Santa Maria da Serra - Vargem	225.7
Santa Maria da Serra - Pedra Bela	227.9
Santa Maria da Serra - Joanópolis	246.5

APÊNDICE H- Cenário 1: Software AIMMS

Apêndice G (I) – Definição do modelo

Apêndice G (II) – Função objetivo

MINIMO_CUSTO ×	
Type	Mathematical Progr ▾
Identifier	MINIMO_CUSTO
Objective	Z
Direction	minimize
Constraints	AllConstraints
Variables	AllVariables
Text	
Type	Automatic
Violation penalty	

Apêndice E (III) – Restrições

RESTR_CAPACIDADE_MAX ×	
Type	Constraint ▾
Identifier	RESTR_CAPACIDADE_MAX
Index domain	I
Text	
Unit	
Property	
Definition	$\text{SUM}(J, X(I, J) * Q(J)) \leq F(I) * 5000;$

RESTR_CAPACIDADE_MIN ×	
Type	Constraint ▾
Identifier	RESTR_CAPACIDADE_MIN
Index domain	I
Text	
Unit	
Property	
Definition	$\text{SUM}(J, X(I, J) * Q(J)) \geq 800 * F(I);$

RESTR_DISPONIBILIDADE ×	
Type	Constraint ▾
Identifier	RESTR_DISPONIBILIDADE
Index domain	J
Text	
Unit	
Property	
Definition	$\text{SUM}(I, X(I, J)) = 1;$

Apêndice G (IV) – Ligação com a base de dados

Apêndice G (V) – Execução do modelo

Apêndice G (VI) – Relatório software AIMMS

Progress	
READY	
AIMMS	: Otimizacao Aterros C1.ams
Math.Program	: MINIMO_CUSTO
# Constraints	: 101
# Variables	: 827 (812 integer)
# Nonzeros	: 4075
Model Type	: MIQP
Direction	: minimize
SOLVER	: CPLEX 12.6.1
Phase	: MIQP
Iterations	: 309
Nodes	: 0 (Left: 0)
Best Bound	: 1457046.955 (Gap: 0.00%)
Best Solution	: 1457046.955
Solving Time	: 0.06 sec (Peak Mem: 0.0 Mb)
Program Status	: Optimal
Solver Status	: Normal completion
Total Time	: 0.45 sec
Memory Used	: 157.8 Mb
Memory Free	: 13912.3 Mb

Apêndice G (VII) – Aterros e respectivas quantidades de resíduos.

Suffix	Level
I	
Cordeiropolis	
Indaiatuba	815.87
Iracemapolis	871.18
Jarinu	908.3
Joanopolis	
Pedra Bela	
Pedreira	1442.77
Rafard	
Rio das Pedras	
Salto	
Santa Barbara doete	801.67
Santa Maria da Serra	
Sao Pedro	
Vargem	

APÊNDICE I- Cenário 2: Software AIMMS

Apêndice F (I) – Relatório software AIMMS

Progress		⌵ ×
READY		
AIMMS	: Otimizacao Aterros C2.ams	
Math.Program	: MINIMO_CUSTO	
# Constraints	: 80	
# Variables	: 414 (406 integer)	
# Nonzeros	: 2038	
Model Type	: MIQP	
Direction	: minimize	
SOLVER	: CPLEX 12.6.1	
Phase	: MIQP	
Iterations	: 217	
Nodes	: 0	(Left: 1)
Best Bound	: 1576223.588	(Gap: 0.00%)
Best Solution	: 1576233.602	
Solving Time	: 0.03 sec	(Peak Mem: 0.0 Mb)
Program Status	: Optimal	
Solver Status	: Normal completion	
Total Time	: 0.47 sec	
Memory Used	: 172.3 Mb	
Memory Free	: 13882.0 Mb	

Apêndice F (II) – Aterros e respectivas quantidades de resíduos.

Suffix	Level
I	
Joanópolis	
Pedra Bela	
Pedreira	1976.71
Rafard	892.48
Rio das Pedras	942.39
Salto	1028.21
Santa Maria da Serra	