



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO
SANITÁRIO PARA O CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL
PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8**

Tanara Schmidt

Lajeado, novembro de 2016

Tanara Schmidt

**SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO
SANITÁRIO PARA O CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL
PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, do curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, novembro de 2016

Tanara Schmidt

**SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO
SANITÁRIO PARA O CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL
PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8**

A banca examinadora abaixo aprova a monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental:

Prof. Dr. Guilherme Garcia de Oliveira – Orientador
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Rafael Rodrigo Eckhardt
Centro Universitário UNIVATES

Prof. Ms. Marcelo Luís Kronbauer
Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, novembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Claudio Schmidt e Lucilene Maria Massaia, meu padrasto Irineu Segatto e aos meus avós, pelo apoio, incentivo e compreensão, durante estes seis anos de caminhada, que mesmo eu estando tão longe de casa, sempre estiveram torcendo e vibrando por cada conquista minha.

Ao meu amigo, companheiro e namorado Daniel Martins dos Santos, pelo incentivo, paciência e auxílio na redação deste trabalho.

Aos meus “orientadores profissionais”, Marco Daniel Hinterholz e Simone Beatris Schneider, pela dedicação, conhecimento e confiança depositados em mim, eu só tenho motivos para agradecer!

Aos colaboradores e responsáveis pelo Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8 – CIPAE G8, que consentiram a realização deste estudo, pela disponibilidade e fornecimento de dados dos municípios integrantes, que foram essenciais para elaboração do presente trabalho.

Aos meus orientadores, Marcelo Luís Kronbauer e Guilherme Garcia de Oliveira e ao coorientador Odorico Konrad, pela dedicação em auxiliar a elaboração deste trabalho e pela amizade construída ao longo desses anos de convivência.

Aos meus muito mais que colegas de trabalho, pela amizade, companheirismo, ajudas e compreensão durante esta minha fase.

Aos meus amigos que fiz durante a graduação, que fizeram as minhas noites mais divertidas, pela amizade e por todos os momentos que passamos juntos.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta conquista!

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos apresenta-se como um dos desafios a serem enfrentados pelas administrações municipais. Dessa forma, este estudo tem como objetivo realizar a seleção de áreas aptas para o dimensionamento e a implantação de aterro sanitário consorciado na área territorial do CIPAE G8. A determinação das áreas aptas à implantação do aterro sanitário implica-se numa decisão baseada em critérios de restrição e aptidão. Para a realização do trabalho foram utilizadas geotecnologias, aplicando-se a ferramenta da lógica *fuzzy* e análise multicritério, com a utilização do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Foram organizadas nove bases georreferenciadas das características operacionais e físicas da área de estudo, sendo elas, a distância mínima dos sistemas viários, dos núcleos urbanos, da central de triagem, da área central, dos recursos hídricos, bem como, declividade, geologia, solos e uso e cobertura da terra. Aplicou-se os pesos para as classes de cada uma das bases, em uma escala entre 0 e 1. Em seguida, definiu-se qual o percentual de importância das variáveis por meio do método AHP. Foi realizada a projeção populacional, considerando dados censitários, por meio da modelagem dos componentes relacionadas à dinâmica populacional e dimensionou-se o aterro sanitário com um horizonte de 20 anos. A base que apresentou maior percentual de importância para a implantação do aterro sanitário foi a de declividade (22%). Obteve-se um mapa, com 68 áreas com a aptidão superior a 0,80 e área maior que 1 hectare. Foram visitadas duas áreas (em Boqueirão do Leão e Progresso) para verificação *in loco*, e ambas demonstraram-se em conformidade com os critérios estabelecidos. Estima-se que em 20 anos o CIPAE G8 contará com uma população de 42.333 habitantes, gerando um volume total de 87.284,58 m³ de rejeito para disposição final, necessitando de uma célula com dimensões totais de 145 metros de comprimento, por 60 metros de largura. Para implantar e operar o aterro sanitário consorciado ao longo dos 20 anos, os custos são de aproximadamente R\$ 8.422.532,00. A metodologia adotada se mostrou eficiente, apresentando resultados consistentes e coerentes com os objetivos propostos no trabalho. Espera-se que com a elaboração desse estudo o consórcio utilize-o como base para um futuro projeto de implantação de aterro sanitário consorciado.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Geotecnologias. Aptidão de áreas. Análise multicritério. Aterro sanitário consorciado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação da geração per capita do CIPAE G8 com o panorama regional, estadual e nacional.....	23
Figura 2: Mapa de localização da futura central de triagem, no município de Progresso, RS.....	28
Figura 3: Layout da futura central de triagem do CIPAE G8	29
Figura 4: Destino final dos RSU coletados no Brasil	32
Figura 5: Número de unidades de disposição final de RSU em operação nas mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul	33
Figura 6: Mapa demonstrando a localização das centrais de triagem e transbordo, bem como os aterros sanitários	36
Figura 7: Obtenção de imagem por sensoriamento remoto	46
Figura 8: Níveis de informação em SIG	47
Figura 9: Estrutura geral de SIG.....	49
Figura 10: Representação dos formatos digitais	49
Figura 11: Etapas para realizar uma escolha adequada	51
Figura 12: Mapa de localização do CIPAE G8	59
Figura 13: Mapa das formações geológicas do CIPAE G8	61
Figura 14: Mapa da hidrografia do CIPAE G8.....	62
Figura 15: Mapa dos solos do CIPAE G8.....	63
Figura 16: Fluxograma das etapas do trabalho	66
Figura 17: Índice Randômico Médio do AHP.....	78
Figura 18: Composição Gravimétrica dos RSU no CIPAE G8	79

Figura 19: Perfil da parte inferior do aterro sanitário	83
Figura 20: Croqui da planta da célula.....	84
Figura 21: Perfil da parte superior do aterro sanitário	84
Figura 22: Impermeabilização da célula, juntamente com a drenagem do percolado e dos gases.....	86
Figura 23: Divisão da célula em figuras geométricas	86
Figura 24: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos recursos hídricos do CIPAE G8.....	89
Figura 25: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos sistemas viários do CIPAE G8.....	91
Figura 26: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos núcleos urbanos do CIPAE G8.....	93
Figura 27: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância da central de triagem do CIPAE G8	94
Figura 28: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância da área central do CIPAE G8.....	96
Figura 29: Mapa de declividade do CIPAE G8	97
Figura 30: Mapa da geologia do CIPAE G8	98
Figura 31: Mapa dos solos do CIPAE G8.....	100
Figura 32: Mapa do uso e cobertura da terra do CIPAE G8.....	101
Figura 33: Mapa de aptidão final para instalação de aterro sanitário na área territorial do CIPAE G8.....	104
Figura 34: Mapa final das áreas com aptidão $\geq 0,80$ e $\geq$ a 1 hectare para instalação do aterro sanitário no CIPAE G8.....	105
Figura 35: Mapa final com a aproximação das áreas com aptidão $\geq 0,80$ e $\geq$ a 1 hectare para instalação do aterro sanitário no CIPAE G8.....	106
Figura 36: Áreas visitadas nos municípios de Boqueirão do Leão e Progresso.....	107
Figura 37: Entrada da área 01 visitada	108
Figura 38: Vista sudoeste da área com cultivo de fumo	108
Figura 39: Vista ao nordeste da área, com cultivo de fumo	108
Figura 40: Vista parcial da área.....	108
Figura 41: Vista ao noroeste da área	108
Figura 42: Residência abandonada.....	108

Figura 43: Vista panorâmica da área	108
Figura 44: Entrada da área 02 visitada	109
Figura 45: Vista da estrada de acesso	109
Figura 46: Estrada com asfalto.....	109
Figura 47: Vista geral da área 02	109
Figura 48: Vista ao norte da área, com cultivo de milho.....	110
Figura 49: Vista ao noroeste da área	110
Figura 50: Vista panorâmica da área	110
Figura 51: Estimativa do saldo migratório e do número de nascimento e óbitos (2004-2010) no CIPAE G8, RS	114
Figura 52: Tendência da taxa de natalidade (2004-2036) no CIPAE G8	115
Figura 53: Tendência da taxa de mortalidade (2004-2036) no CIPAE G8	116
Figura 54: Tendência da taxa do saldo migratório (2004-2036) no CIPAE G8	116
Figura 55: Geração de RSU Kg/ano.....	118
Figura 56: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito na área urbana	119
Figura 57: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito na área rural	119
Figura 58: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito no CIPAE G8	119
Figura 59: Projeção da geração e dos custos com transporte e disposição final de rejeito em aterro sanitário terceirizado	126
Figura 60: Projeção do custo fixo anual para o horizonte de 20 anos.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Composição de RSU para os municípios do Rio Grande do Sul.....	23
Quadro 2: Informações referentes quanto à coleta, triagem, transbordo, transporte e destino final dos RSU, bem como as distâncias até a central de triagem com estação de transbordo e o aterro sanitário	35
Quadro 3: Condições para selecionar áreas para implantação de um aterro sanitário	42
Quadro 4: Critérios técnicos, ambientais, operacionais e sociais para implantar um aterro sanitário	43
Quadro 5: Comparações do método AHP	75
Quadro 6: Matriz comparativa (supondo que base 1 domina a base 2)	76
Quadro 7: Matriz de comparação pareada do método AHP, com as nove variáveis utilizadas.	77
Quadro 8: Matriz AHP preenchida pelos especialistas.....	102
Quadro 9: Matriz AHP preenchida pela autora do presente estudo	102
Quadro 10: Matriz AHP final.....	103
Quadro 11: Custos despendidos mensalmente com a prestação de serviços voltados aos RSU	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de aptidão do fator da distância dos recursos hídricos do CIPAE G8	68
Tabela 2: Valores de aptidão do fator de distância dos sistemas viários do CIPAE G8	69
Tabela 3: Valores de aptidão do fator de distância dos núcleos urbanos do CIPAE G8	70
Tabela 4: Valores de aptidão do fator de distância da central de triagem do CIPAE G8	71
Tabela 5: Valores de aptidão da área central do CIPAE G8	71
Tabela 6: Valores de aptidão do fator de declividade do CIPAE G8	72
Tabela 7: Valores de aptidão do fator de geologia do CIPAE G8.....	73
Tabela 8: Valores de aptidão do fator de solo do CIPAE G8.....	74
Tabela 9: Valores de aptidão do fator uso e cobertura da terra do CIPAE G8	75
Tabela 10: Classes de aptidão do fator de distâncias dos recursos hídricos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	89
Tabela 11: Classes de aptidão do fator de distância dos sistemas viários com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	90
Tabela 12: Classes de aptidão do fator de distância dos núcleos urbanos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	92
Tabela 13: Classes de aptidão do fator de distância da central de triagem com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	94

Tabela 14: Classes de aptidão do fator de distância da área central com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	95
Tabela 15: Classes de aptidão do fator de declividade com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	96
Tabela 16: Classes de aptidão do fator de geologia com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	98
Tabela 17: Classes de aptidão do fator de solos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8.....	99
Tabela 18: Classes de aptidão do fator de uso e cobertura da terra com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8	101
Tabela 19: Percentual de importância de cada base resultante da matriz AHP	103
Tabela 20: Estimativa da população de cada município do CIPAE G8.....	112
Tabela 21: Estimativa da população urbana de cada município do CIPAE G8.....	113
Tabela 22: Estimativa da população rural de cada município do CIPAE G8.....	113
Tabela 23: Projeção populacional para o horizonte de 20 anos.....	117
Tabela 24: Dimensões do aterro sanitário consorciado	120
Tabela 25: Total de geomembrana a ser utilizada na célula do aterro sanitário	121
Tabela 26: Custos com a implantação do aterro sanitário do CIPAE G8	126
Tabela 27: Custos referentes a eletrodomésticos e móveis para disposição na estrutura administrativa	127
Tabela 28: Custos referentes à operação do aterro sanitário	127
Tabela 29: Equipamentos de proteção individual (EPIs) para o encarregado.....	128
Tabela 30: Custos com mão de obra	129
Tabela 31: Custos fixos com serviços gerais	129
Tabela 32: Investimentos totais para a implantação e operação do aterro sanitário	131
Tabela 33: Comparativos dos custos em relação a terceirização e a implantação de um aterro sanitário	131

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 Resíduos sólidos urbanos	19
3.2 Geração de resíduos sólidos urbanos.....	22
3.3 Consórcios públicos intermunicipais	23
3.3.1 Consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do G8 (CIPAE G8).....	26
3.4 Custos com os serviços de manejo de RSU	30
3.5 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos.....	31
3.6 Aterros Sanitários.....	37
3.6.1 Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários	41
3.7 Geotecnologias	44
3.7.1 Sensoriamento remoto.....	45
3.7.2 Geoprocessamento.....	47
3.7.3 Ferramenta a apoio à decisão	50
3.7.3.1 Análise por múltiplos critérios	53
3.7.4 Estudos realizados com aplicação de geotecnologias para implantação de aterros sanitários	55
4 METODOLOGIA	58
4.1 Caracterização da área de estudo	58
4.1.2 Características físicas.....	60

4.1.2.1 Geologia	60
4.1.2.2 Hidrografia	61
4.1.2.3 Solos	62
4.1.2.4 Clima.....	63
4.2 Materiais	64
4.3 Métodos.....	65
4.3.1 Seleção de áreas para implantação do aterro sanitário consorciado	67
4.3.1.1 Estabelecimentos dos critérios de restrição e aptidão	67
4.3.1.2 Comparação ponderada dos fatores.....	75
4.3.1.3 Agregação dos fatores e restrições	78
4.3.2 Dimensionamento do aterro sanitário consorciado	79
4.3.2.1 Projeção populacional.....	80
4.3.2.2 Determinação da massa e do volume dos resíduos sólidos	82
4.3.2.3 Dimensionamento da célula.....	83
4.3.2.4 Impermeabilização da célula	85
4.3.2.5 Viabilidade financeira do aterro sanitário consorciado	87
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
5.2 Dimensionamento do aterro sanitário consorciado	111
5.2.1 Projeção populacional.....	111
5.2.2 Determinação da massa e do volume dos resíduos sólidos	117
5.2.3 Dimensionamento da célula.....	120
5.3 Análise da viabilidade financeira do aterro sanitário consorciado	124
5.3.1 Custos mantendo a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários de terceiros e implantação da central de triagem e compostagem no CIPAE G8.	125
5.3.2 Investimos para a implantação de um aterro sanitário no CIPAE G8	126
5.3.3 Custos Fixos	128
5.3.4 Comparativos.....	130
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	132
REFERÊNCIAS.....	134
ANEXO	144
APÊNDICE.....	145

1 INTRODUÇÃO

A expansão da urbanização acompanhada dos avanços tecnológicos e o consumismo trazem consigo um aumento na quantidade e diversidade de resíduos sólidos urbanos (RSU), que demandam uma disposição final adequada para se evitar danos ao meio ambiente e a saúde pública (SANTOS; SILVA, 2011).

Os RSU abrangem os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências e os oriundos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços, denominados resíduos de limpeza urbana (BRASIL, 2010). Além destes, pode-se mencionar que os resíduos comerciais e industriais também podem ser considerados urbanos, desde que as características e o volume sejam compatíveis com os resíduos de origem domiciliar (PERS, 2014).

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos ambientais e sociais. Os resíduos quando lançados ao meio ambiente de forma inadequada geram impactos negativos, tais como a contaminação do solo e dos recursos hídricos, contribuição para a poluição do ar, geração de odores e atração e proliferação de vetores, afetando diretamente o meio ambiente e a saúde pública. Essa situação se intensifica à medida que a urbanização cresce de forma acelerada e desordenada, trazendo consigo o aumento na geração de resíduos, bem como a redução de áreas adequadas para disposição final. Tais condições justificam-se na necessidade das administrações públicas buscarem alternativas eficazes para o seu equacionamento (FAGUNDES, 2009; PEREIRA, 2009).

Em 2010, o Brasil passou a ter um marco regulatório na área de resíduos sólidos, com perspectivas de mudanças no cenário atual dos municípios, através da criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), constituída pela Lei Federal nº 12.305 de agosto de 2010. A partir desta Lei, ficou proibida a disposição final de resíduos em aterros controlados e lixões, o que obriga os municípios a adotarem soluções técnicas adequadas para o tratamento e disposição final dos resíduos. Atualmente os aterros sanitários, constituem-se na melhor alternativa técnica para a disposição final dos resíduos, os quais deveriam receber somente os rejeitos gerados pelas atividades humanas, garantindo maior vida útil, minimizando os impactos ambientais, bem como os riscos à saúde pública (BRASIL, 2010).

Entretanto, os municípios de pequeno e médio porte, encontram dificuldades em se adequarem aos padrões ambientais estabelecidos, principalmente devido aos recursos financeiros insuficientes e a escassez de áreas para a implantação de aterros sanitários (CALDERAN, 2013).

Dessa forma, uma alternativa viável é a união dos municípios, através de consórcios públicos, configurando-se como parcerias entre dois ou mais municípios, com o objetivo de realizar ações, gerenciar de forma integrada os resíduos sólidos, através do uso em conjunto de aterros sanitários, de maneira que todos os municípios integrantes participem financeiramente com a implantação e operação, tornando-se uma possibilidade viável do ponto de vista econômico e ambiental, bem como assegurando a qualidade dos serviços públicos prestados à população (CALDERAN, 2013).

Realizar a seleção da área para implantação de um aterro sanitário é indispensável, pois evita custos desnecessários e principalmente minimiza os riscos ambientais e sociais. Para a escolha da área de implementação, alguns fatores técnico-ambientais devem ser considerados como elementos primários de avaliação, tais como a geologia, hidrogeologia, uso e cobertura da terra, solo, topografia, recursos hídricos superficiais, acesso a área e a distância do meio urbano (MARQUES, 2011; apud PFEIFFER, 2001).

Nesse contexto, as geotecnologias tornam-se grandes aliadas na identificação de as áreas aptas para a implantação de aterros sanitários, pois é um

instrumento capaz de realizar análise físico-territorial, auxiliando os municípios no planejamento urbano (LOURENÇO et al. (2015) apud BATISTELLA; MORAN, 2008).

As geotecnologias constituem-se em um conjunto de tecnologias para coletar, processar, analisar e oferecer informações com referências geográficas para fins de estudos do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, que subsidiam diversas demandas do planejamento e gestão territorial. Dentre as geotecnologias pode-se destacar o sensoriamento remoto, geoprocessamento, topografia, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistemas de Informações Geográficas (SIG), entre outros (ROSA, 2005; MORAES, FERREIRA, OLIVEIRA, 2010).

Neste contexto, a aplicação de SIG, é considerado um fator decisivo para realização de análises e subsídios na tomada de decisões complexas viabilizadas em um curto período de tempo. Esse método apresenta resultados eficientes e eficazes na gestão territorial e no planejamento de uma determinada área, através de aplicações da gestão urbana destacando-se o gerenciamento dos RSU, analisando o potencial de uma área para receber a disposição dos mesmos (MORAES, FERREIRA, OLIVEIRA, 2010).

Neste trabalho, a área de estudo abrangerá os municípios de Boqueirão do Leão, Canudos do Vale, Cruzeiro do Sul, Forquetinha, Marques de Souza, Progresso, Santa Clara do Sul e Sério, integrantes do Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8 (CIPAE G8), localizados na região do Vale do Taquari, apresentam uma população total de 42.488 habitantes, subdivididos em 16.830 habitantes urbanos e 25.658 habitantes rurais, possuindo uma área total de 1.162,697 km², perfazendo uma densidade demográfica de 301,90 hab./km² (IBGE, 2010).

Foram estas considerações, que levaram ao desenvolvimento deste trabalho, que buscou analisar a aptidão de uma área para a implantação e dimensionamento de um aterro sanitário consorciado, para atender às demandas regionais, pois um dos problemas atuais relacionados ao meio ambiente diz respeito à inadequada disposição dos RSU.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo analisar a aptidão da área territorial dos municípios integrantes do CIPAE G8 para a instalação de aterro sanitário intermunicipal, bem como realizar o seu dimensionamento e analisar sua viabilidade econômico-financeira, no sentido de beneficiar os municípios do CIPAE G8.

2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer os critérios para identificar a aptidão das áreas analisadas;
- Determinar a aptidão da área de estudo com vistas à instalação do aterro sanitário consorciado;
- Dimensionar o aterro sanitário;
- Realizar o estudo de viabilidade financeira do aterro sanitário;
- Traçar um comparativo econômico-financeiro entre a situação atual e a projeção de um aterro sanitário intermunicipal do G8.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos sólidos urbanos

O avanço da urbanização ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, a partir da década de 1950. Neste período, a expansão industrial atingiu patamares importantes, estimulando o êxodo rural, a migração do campo para a cidade. A partir de então, surgiu a explosão e a consolidação do consumo em massa, logo, deu-se início ao processo de estabelecimento de uma cultura baseada no consumismo (MELLO; HOGAN, 2006; CASALECCHI, 2016).

O crescimento populacional e a intensidade da industrialização são fatores que contribuem para o aumento da produção de RSU. A sociedade adotou hábitos e costumes diferentes, tornando-se mais consumista, aceitando a imposição de padrões de consumo e com isso veio a crescente utilização de produtos com ciclos de vida menores e de embalagens descartáveis, gerando uma grande quantidade de RSU (GONÇALVES, TANAKA, AMEDOMAR, 2013).

A Lei Federal nº 12.305 de agosto de 2010, apresenta uma visão sistemática perante os resíduos sólidos, no que se refere à implantação da gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado, prevendo um conjunto de metas/ações voltadas para a busca de soluções, sendo o mais importante marco histórico referente aos resíduos, definindo-os 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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Enquanto a NBR 10.004 (ABNT, 2004), classificação de resíduos sólidos, define da seguinte forma:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços 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 pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004, 2004, p.1)

Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010 em seu Art.13, os resíduos sólidos possuem a seguinte origem e periculosidade:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas "a" e "b";
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas "b", "e", "g", "h" e "j";
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea "c";
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a” (BRASIL, 2010).

Na NBR 10.004/04 da ABNT, a classificação dos resíduos é de acordo com os riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, sendo aqueles:

Resíduos Perigosos (Classe I): são aqueles que exibem características que podem colocar em risco as pessoas que os manipulam ou que com eles tenham contato. Esses resíduos apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e/ou patogenicidade.

Resíduos não Perigosos não Inertes (Classe II A): são aqueles que não apresentam inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, patogenicidade, e nem possuem tendência a sofrer uma reação química brusca. Porém isso não significa dizer que não oferecem perigos ao ser humano ou ao meio ambiente. Os materiais desta classe podem oferecer outras propriedades, sendo biodegradáveis, combustíveis ou solúveis em água, por exemplo.

Resíduos não Perigosos Inertes (Classe II B): são os materiais que compõe este grupo também não prestam quaisquer daquelas características de periculosidade que são vistas nos resíduos de Classe I. Porém, eles se mostram indiferentes ao contato com água destilada ou desionizada, quando expostos à temperatura média dos espaços exteriores dos locais onde foram produzidos (NBR 10004, 2004, p.5).

Diante das definições e classificações expostas, pode-se verificar que os resíduos sólidos possuem uma diversidade e complexidade, abrangendo várias origens e tipologias, resultantes das diversas atividades humanas na sociedade (CASTILHOS JUNIOR, 2003). No que se refere aos RSU, a NBR 8.419/1992 da ABNT os define como “resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos e de aeroportos e portos” (NBR 8419/1992 p. 2).

De modo geral, os RSU são aqueles oriundos de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários dos serviços de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas (resíduos de limpeza urbana), coletados através da coleta convencional e seletiva em uma determinada área, tendo como responsabilidade o município. Também são considerados RSU aqueles resíduos gerados pelo comércio e pela indústria, desde que apresentem características e volume similares aos resíduos domiciliares. Para os demais resíduos não considerados urbanos, cabe ao gerador a responsabilidade em atender as legislações vigentes (PERS, 2014).

Ainda, a atribuição ou não da responsabilidade pelo manejo dos resíduos similares aos RSU oriundos das atividades comerciais, industriais e de serviços ao

gerador fica a cargo dos municípios (PERS, 2014). De acordo com Monteiro et al., 2001, p. 27), “o regulamento de limpeza urbana do município poderá definir precisamente dos subgrupos de pequenos e grandes geradores”, sugere-se que adotem parâmetros para resíduos comerciais, considerando o pequeno gerador aquele que gera um volume de resíduos de até 120 litros/dia, já o grande gerador, gera um volume de resíduos superior a 120 litros/dia.

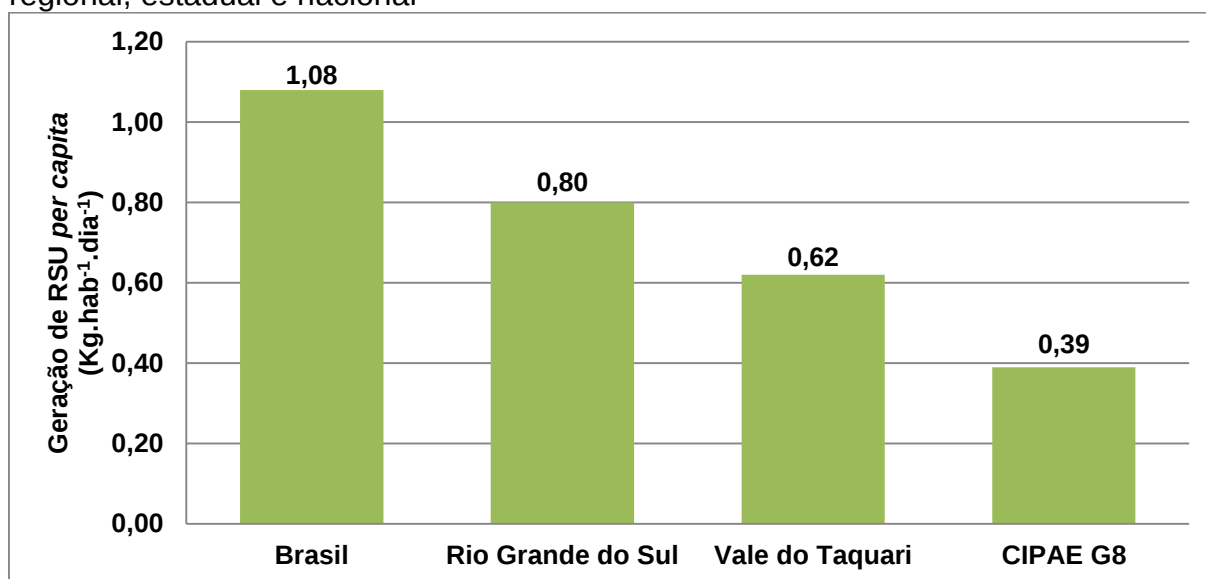
As características econômicas e sociais de um município influenciam na geração dos RSU. Podem-se levar como parâmetros de geração o porte e a taxa de urbanização, municípios de maior porte e taxa de urbanização elevada, geralmente apresentam uma maior geração *per capita* de RSU, em relação aos municípios de pequeno porte (PERS, 2014).

3.2 Geração de resíduos sólidos urbanos

Conforme a ABRELPE e o PNRS (2014), a geração de RSU no Brasil, foi de 78.583.405 toneladas/ano, quando no estado do Rio Grande do Sul, foi de 3.150.291 toneladas/ano, representando 4% do total de RSU gerados no Brasil. No Vale do Taquari, a geração média total é de 4.742,50 toneladas/mês, totalizando cerca de 56.910,00 toneladas/ano de RSU, correspondendo a 2% do total de RSU gerados no estado do Rio Grande do Sul, aproximadamente uma geração *per capita* média de 0,620 kg/hab./dia (SILVA, 2013).

Tratando-se do CIPAE G8, a geração de RSU é de 5.965,32 toneladas/ano, para uma população de 42.488 habitantes (IBGE, 2010). Realizando um comparativo, podemos verificar que o CIPAE G8, encontra-se abaixo das estimativas da região do Vale do Taquari, Rio Grande do Sul e Brasil, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Comparação da geração *per capita* do CIPAE G8 com o panorama regional, estadual e nacional



Fonte: Autora (2016).

Conforme o PERS, referente à composição dos RSU no Rio Grande do Sul, adotou-se as composições médias por faixas populacionais dos municípios, considerando-se o aumento da fração orgânica sobre a fração de materiais recicláveis em municípios de menor porte, de acordo com o padrão de consumo. No Quadro 1 é apresentada a composição média de RSU para os municípios do Rio Grande do Sul.

Quadro 1: Composição de RSU para os municípios do Rio Grande do Sul

Faixa populacional (hab.)	Número de municípios	Composição de RSU		
		Matéria orgânica	Material reciclável	Rejeito
Até 50.000	455	65%	20%	15%
De 50.001 a 300.00	38	60%	25%	15%
Mais de 300.000	4	55%	30%	15%

Fonte: Adaptado de PERS, 2014.

3.3 Consórcios públicos intermunicipais

A grande maioria dos municípios brasileiros não possuem capacidades financeiras, bem como não dispõem de recursos técnicos suficientes, incluindo estrutura administrativa e corpo técnico especializado, para garantir a gestão plena,

direta e individualizada de alguns dos serviços públicos de sua competência constitucional, entre eles destacam-se os serviços de saneamento básico, aonde se inclui o gerenciamento dos RSU (PEIXOTO, 2008).

Segundo o Decreto nº 6.017, de 17 de janeiro de 2007, que regulamenta a Lei Federal nº 11.107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos, define os consórcios públicos como:

Art. 2º Para os fins deste Decreto, consideram-se:

I - consórcio público: pessoa jurídica formada exclusivamente por entes da Federação, na forma da Lei nº 11.107, de 2005, para estabelecer relações de cooperação federativa, inclusive a realização de objetivos de interesse comum, constituída como associação pública, com personalidade jurídica de direito público e natureza autárquica, ou como pessoa jurídica de direito privado sem fins econômicos (BRASIL, 2007).

Segundo Lima (2003), os consórcios públicos intermunicipais são os resultados da união de vários municípios, que formaram associação pública, sem fins lucrativos, cujos objetivos estão fixados em seu Estatuto Social. Desse modo, os municípios se unem na forma de consórcios, atuando de forma conjunta ou integrada, a fim de resolver problemas e efetuar ações de interesse comum. Diante disso, a realização do consórcio auxilia os municípios em vários aspectos dentre eles:

O planejamento local e regional, auxiliando na organização de planos, avaliação e controles; na superação de problemas locais; possibilitando ganhos de escala de produção; na racionalização no uso de recursos financeiros, humanos e tecnológicos; na modernização administrativa por meio da padronização de suprimentos e procedimentos administrativos da capacidade de cooperação técnica e na implementação e regulação de políticas regionalizadas (LIMA, 2003 p. 45).

Os consórcios públicos estão ordenados sob a Lei Federal nº 11.107, de cinco de janeiro de 2005, um dos benefícios diretos é o de agrupar pequenos municípios, agregando um número suficiente de habitantes, para que estes possam ser contemplados por diversos programas dos governos estadual e federal, nas mais diversas áreas (meio ambiente, saúde, segurança pública, e outros serviços), destinados a municípios com número maior de habitantes.

A Lei Federal nº 11.445/2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, as quais se aplicam a todos os entes da federação e a todos os órgãos e entidades a eles

vinculados, inclusive aos consórcios públicos que tenham por objetivo a gestão associada dos serviços públicos de saneamento básico.

A Lei Federal nº 12.305/2010, cita em seu Art. 8, que através dos consórcios públicos podem-se reduzir os custos para implantação de programas voltados a população, bem como em seu Art. 45 menciona que os consórcios possuem prioridades na obtenção de recursos:

Art. 8º São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

Art. 45. Os consórcios públicos constituídos, nos termos da Lei nº 11.107, de 2005, 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. (BRASIL, 2010).

Neste sentido, os consórcios públicos surgem como uma alternativa para a gestão pública, servindo de ferramenta para auxiliar no planejamento regional e na solução de problemas comuns vivenciados no cotidiano entre os entes federados. A partir disso, conseguem garantir a eficiência na execução dos serviços públicos, tais como a implantação da coleta seletiva, a central de triagem e compostagem, e a criação de aterros sanitários, o que seria impossível um único órgão administrativo realizar, devido aos elevados custos de implantação e operação, fazendo com que os mesmos encaminhem seus RSU para disposição final em aterros sanitários localizados em outros municípios (CALDERAN, 2013).

Segundo Gomes (2010), uma alternativa viável é a criação de aterros sanitários intermunicipais, sendo administrados através da gestão dos municípios consorciados e operados pela iniciativa privada, garantindo um gerenciamento adequado dos RSU.

3.3.1 Consórcio público intermunicipal para assuntos estratégicos do G8 (CIPAE G8)

Em 2005, oito municípios pertencentes ao Vale do Taquari, decidiram se unir para resolver desafios da administração pública em conjunto. O grupo passou a ser nomeado como G8, sob a denominação oficial de Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8 (CIPAE G8), tendo como integrantes os municípios de Boqueirão do Leão, Canudos do Vale, Cruzeiro do Sul, Forquetinha, Marques de Souza, Progresso, Santa Clara do Sul e Sério (PMSB, 2015).

De acordo com o Estatuto Social (2010), o CIPAE G8, constitui-se sob a forma de associação pública, de direito público, sem fins lucrativos, tendo como objetivo coordenar e ordenar a utilização dos recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis nas esferas de governo municipal, estadual, federal e também junto a fundações e instituições internacionais para reforçar o papel dos municípios consorciados na elaboração e gestão das políticas públicas e captação de recursos nas seguintes áreas:

Assistência social; cultura; turismo; educação; desenvolvimento econômico; desenvolvimento social; infraestrutura urbana e rural; meio ambiente; esporte e lazer; políticas para as mulheres, jovens, crianças, adolescentes, portadores de necessidades especiais e idosos; de geração de emprego e renda; desenvolvimento agrário; habitação; regularização fundiária; segurança pública; patrimônio histórico; saúde; **saneamento; gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**; gestão pública; comunicação (rádio, televisão e internet); ciência e tecnologia; integração regional; defesa civil; de combate às drogas e da igualdade racial para todos os municípios integrantes do Consórcio, devendo reger-se pelas normas e diretrizes estabelecidas pelos municípios consorciados, através de suas estruturas administrativas, pela Lei Federal n.º 11.107, de 06 de abril de 2005, pelas Legislações Municipais e as demais atinentes à matéria, pelo presente estatuto, protocolo de intenções e ata de fundação e também pela regulamentação que vier a ser adotada pelos seus órgãos competentes (ESTATUTO SOCIAL, 2010 p.1).

Cabe citar, que o fato dos municípios já estarem consorciados não impede que municípios de outras regiões participem, os quais podem se filiar para o atendimento em todas as finalidades descritas no Estatuto Social em seu Art. 1º ou somente para finalidades ou áreas específicas, sendo que esta adesão deverá ser somente após a aprovação do Conselho de Prefeitos e por Lei Municipal específica dos municípios que desejarem fazer parte (ESTATUTO SOCIAL, 2010).

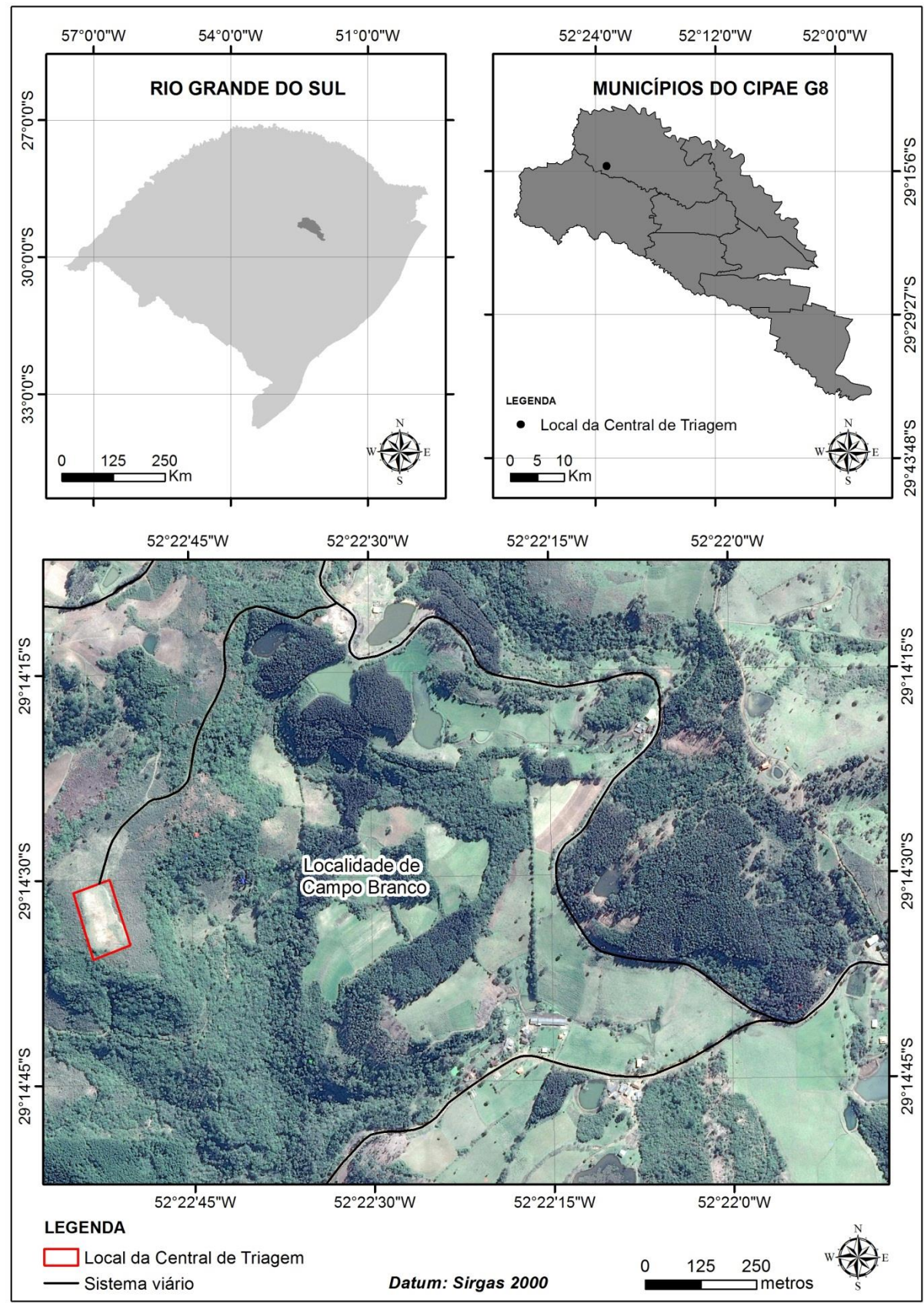
O consórcio é um importante instrumento de apoio aos gestores municipais, a fim de garantir ampla participação dos diferentes setores da administração, buscando a troca de experiências, debates setoriais e formas de ações conjuntas. É importante destacar que, a área de atuação do CIPAE G8 é formada somente pelos territórios dos municípios que o integram, constituindo-se em uma unidade territorial sem limites intermunicipais e regionais para as finalidades a que se propõe (ESTATUTO SOCIAL, 2010).

O CIPAE G8 poderá propor, desenvolver, apresentar, acompanhar iniciativas e projetos que visam à captação de recursos orçamentários e financeiros junto aos diversos órgãos, autarquias e outras instituições públicas na esfera governamental municipal, estadual e federal, e também junto a fundações e instituições públicas, privadas nacionais e também internacionais (ESTATUTO SOCIAL, 2010).

Neste sentido, o CIPAE G8, já vem realizando ações voltadas para a prestação dos serviços públicos, onde os municípios consorciados mobilizaram-se para buscar recursos junto ao Governo Federal para a elaboração do seu plano intermunicipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PIGIRS), consistindo na elaboração de Diagnóstico, Prognóstico, Regulação, Elaboração de Proposições, Consolidação e Aprovação, conforme preconiza a Lei Federal nº12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O PIGIRS foi finalizado no ano de 2013, desde então, os municípios vêm executando as ações que foram propostas no mesmo. Uma dessas ações é a implantação da central de triagem, composta por um pavilhão com área total de 1.049,37 m² e uma sede administrativa (CIPAE G8, 2016). A central de triagem e a sede estão localizadas junto à localidade de Campo Branco, no município de Progresso/RS (Figura 2), situada nas coordenadas geográficas latitude -29,2428° e longitude -52,3810°. Na Figura 3 é demonstrado o layout da central de triagem, com sua sede administrativa.

Figura 2: Mapa de localização da futura central de triagem, no município de Progresso, RS



Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e Google Earth PRO.

Figura 3: Layout da futura central de triagem do CIPAE G8



Fonte: CIPAE G8 (2016).

Vale ressaltar que no PIGIRS (por se tratar de um plano e não de um projeto) não foram identificadas e/ou mencionadas possíveis áreas para disposição final dos RSU, tampouco estudo de viabilidade técnica para implantação de um aterro sanitário consorciado na região do CIPAE G8.

Para tal afirmação, menciona-se no PIGIRS, “...a destinação final atual se manterá em Minas do Leão, tendo em vista que o aterro sanitário em questão tem horizonte de vida útil superior à deste Plano” (PIGIRS, 2013 p. 293). Contudo, estabeleceu-se uma diretriz de gestão, onde se cita: “apresentar proposta do grupo de trabalho para novas áreas de disposição final, ambientalmente adequada nos municípios” (PIGIRS, 2013 p. 389).

Ainda, foram desenvolvidos alguns estudos no âmbito do CIPAE G8, porém nenhum realizou a seleção e o dimensionamento de um aterro sanitário consorciado. Silva (2013) realizou um estudo voltado para a criação de consórcio intermunicipal de gestão integrada de RSU no Vale do Taquari, com o objetivo de caracterizar o gerenciamento dos RSU, quantificá-los e propor um possível consórcio intermunicipal, baseado na distância do município ao local de disposição final. Gonzatti (2012) elaborou um diagnóstico dos RSU do município de Sério/RS (este integrante do CIPAE G8), com vistas à integração consorciada com outros

municípios, mas especificamente propor um possível gerenciamento consorciado dos RSU com os municípios participantes do CIPAE G8.

3.4 Custos com os serviços de manejo de RSU

Segundo o PERS (2014) os custos com os serviços de manejo de RSU, variam de acordo com os tipos e à qualidade de serviços prestados, bem como ao percentual de cobertura dos habitantes, às tecnologias adotadas e à forma de prestação de serviços, ou seja, de forma direta ou por contratação de terceiro. Ainda o PERS (2014), afirma que:

Atualmente, devido à ausência de aterros sanitários próprios ou próximos, diversos municípios vêm dispondo seus resíduos em unidades distantes, encarecendo o custo global de manejo do município com o transporte e a disposição final de rejeitos.

Os custos de implantação e de operação de unidades de triagem, tratamento e disposição final de rejeitos é variável de acordo com a capacidade da unidade, tecnologia adotada e quantidade de resíduos processados ou rejeitos recebidos para disposição final (PERS, 2014 p. 308).

Conforme a ABRELPE (2014), em 2014 os valores médios correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana por habitante/ano no Brasil era respectivamente de R\$ 73,32 e R\$ 46,44, totalizando R\$ 119,76 por habitante/ano.

Já na região sul do Brasil, em 2014 os valores médios correspondentes aos recursos aplicados na coleta de RSU e nos demais serviços de limpeza urbana por habitante/ano foi de respectivamente de R\$ 42,48 e R\$ 51,24, totalizando R\$ 93,72 por habitante/ano (ABRELPE, 2014). Ainda, segundo o PERS (2014), cerca de 44% dos municípios do estado do Rio Grande do Sul realizavam cobrança regular pelo serviço de manejo dos RSU, onde:

- 42% com vínculo ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU);
- 2% sem vínculo ao IPTU;
- 18% dos municípios não realizam a cobrança e;
- 38% não se tem informação.

Cabe mencionar, que todos os municípios integrantes do CIPAE G8, realizam a cobrança regular pelo serviço de manejo dos RSU, através do IPTU, porém os valores arrecadados não cobrem os custos que são despendidos mensalmente (PIGIRS, 2013).

3.5 Disposição final dos resíduos sólidos urbanos

O gerenciamento dos resíduos sólidos consiste em um conjunto de ações exercidas, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada, bem como, a disposição final correta dos rejeitos, para que seus impactos no meio ambiente sejam minimizados (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, inicialmente devem-se estabelecer algumas distinções das formas existentes de disposição final dos RSU que ocorrem no Brasil, sendo estas denominadas como: os lixões, aterro controlado e aterro sanitário, cujas caracterizações são:

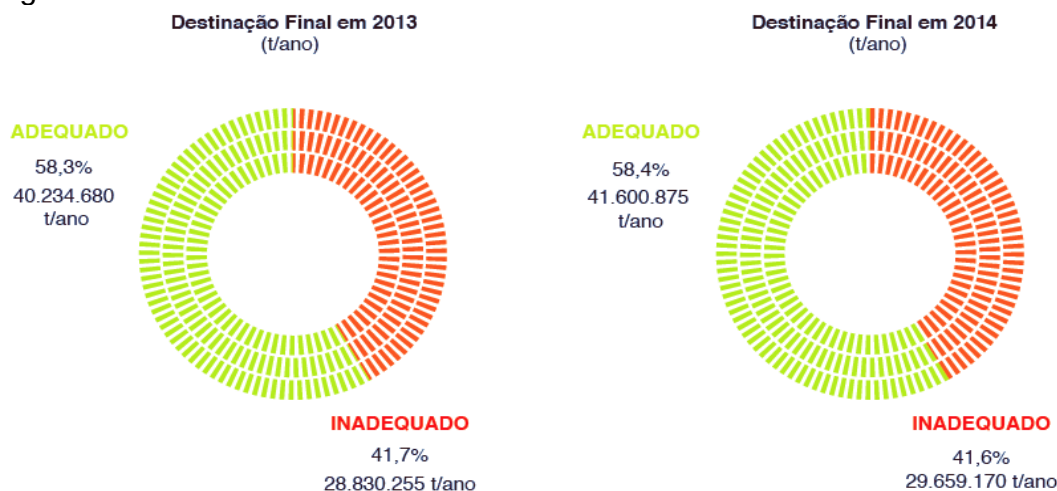
- Lixão: área de disposição final dos RSU, onde são dispostos diretamente sobre o solo, podendo causar contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, através do líquido percolado e do contato com os próprios resíduos. Ressalta-se que, não há critérios técnicos para a seleção e operação dessas áreas, ocasionando danos ao meio ambiente e riscos à saúde pública.
- Aterro controlado: espaço de disposição final dos RSU, através de técnicas de recobrimento dos RSU com uma camada de material inerte. Apesar de receber essa cobertura, os aterros controlados são similares aos lixões, proporcionando qualidade bastante inferior aos aterros sanitários, pois não apresentam barreiras que impedem a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.
- Aterro sanitário: local de disposição final dos RSU, apresentando mínimos impactos ambientais e riscos à saúde pública, bem como a segurança pública. São locais com critérios técnicos para a seleção e operação,

dispondo de instalações para captar e tratar os gases e líquidos resultantes do processo de decomposição, protegendo o solo, os lençóis freáticos e o ar (BARTHOLOMEU; BRANCO; CAIXETA-FILHO, 2011).

Conforme o MMA (2014), os aterros sanitários devem receber somente aqueles resíduos sólidos que não podem mais ser reaproveitados, reciclados ou tratados, denominados rejeitos, contudo, os municípios devem possuir um bom sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo coleta seletiva e tratamento de resíduos orgânicos, por exemplo, de forma a enviar o mínimo possível para o aterro sanitário. Os materiais passíveis de reaproveitamento, reciclagem ou tratamento por tecnologias economicamente viáveis (como resíduos recicláveis ou orgânicos) não podem mais serem encaminhados para a disposição final em aterros sanitários.

Conforme a ABRELPE no ano de 2014, o Brasil teve uma geração total de RSU de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, deste total, cerca de 58,4% foram destinados para aterro sanitários, porém a quantidade de RSU destinada a locais inadequados totaliza 29.659.170 toneladas no ano, representando cerca de 41,6%, que seguiram para lixões ou aterros controlados. Na Figura 4 é demonstrada a quantidade de resíduos destinada de forma inadequada e adequada no Brasil em 2013 e 2014.

Figura 4: Destino final dos RSU coletados no Brasil

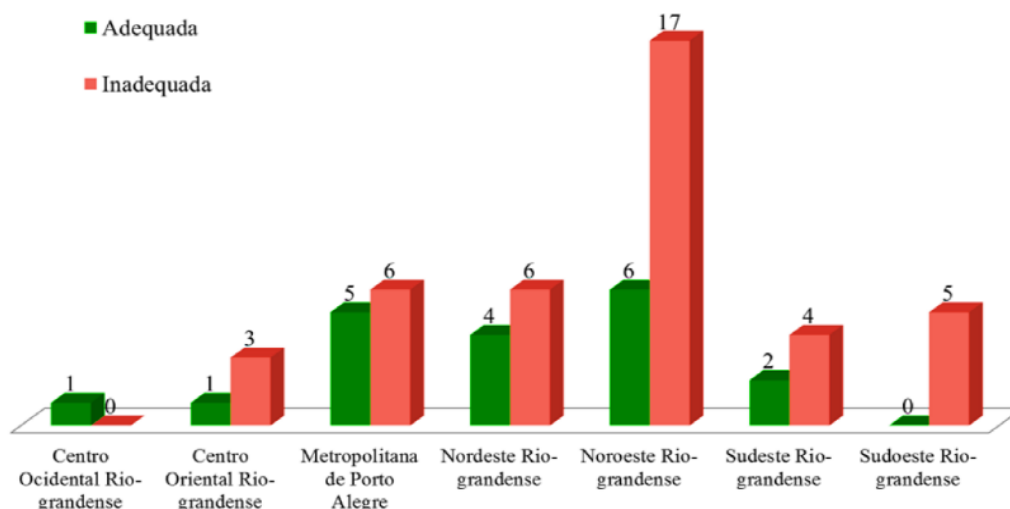


Fonte: ABRELPE (2014).

No estado do Rio Grande do Sul aproximadamente 80% dos municípios realizam a disposição final dos RSU em aterros sanitários, correspondendo a 83,6%

dos resíduos gerados pela população rio-grandense. Referente à disposição final realizada em aterros controlados ou lixões a Mesorregião Sudoeste Rio-grandense é a que apresenta pior situação, pois aproximadamente 56% da população têm seus RSU dispostos de forma inadequada (PERS-RS, 2014). Na Figura 5 é demonstrado o número de unidades de disposição final de RSU em operação nas mesorregiões do RS.

Figura 5: Número de unidades de disposição final de RSU em operação nas mesorregiões do Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: PERS (2014).

A quantidade de RSU disposta em aterros controlados e lixões no Rio Grande do Sul correspondem a 865.440 toneladas por ano, em que 975 toneladas são dispostas em lixões e 1.429 toneladas são dispostas em aterros controlados diariamente (ABRELPE, 2014). No ano de 2014, havia 60 unidades de disposição final em operação no estado, destas 41 estão operando de forma inadequada, onde 38 são aterros controlados e três lixões (PERS-RS, 2014).

Nesse contexto, nota-se que alguns municípios do RS, ainda realizam a disposição dos RSU de maneira inadequada, onde se faz necessária à busca de alternativas de disposição final apropriadas, levando em consideração os fatores ambientais, socioculturais, políticos, socioeconômicos e operacionais. Desta maneira, o aterro sanitário é uma alternativa técnica aceita atualmente como forma de disposição final (RIBEIRO, 2011).

Conforme Silva (2013), em relação aos municípios do Vale do Taquari, os RSU são coletados por empresas terceirizadas, as quais destinam estes de maneira

adequada para a disposição final em aterros sanitários. A grande maioria dos municípios não possui aterro sanitário em seu território, ou seja, os resíduos coletados são destinados para aterros sanitários localizados em outros municípios.

Basicamente, os resíduos coletados no Vale do Taquari são encaminhados para três municípios, sendo eles Minas do Leão e São Leopoldo, ambos administrados pela Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR) e Serafina Corrêa, conduzido pela empresa Planeta, Reciclagem e Aterro Sanitário. O aterro sanitário localizado em Minas do Leão atende aproximadamente 80% dos municípios, já Serafina Corrêa e São Leopoldo aproximadamente 3% cada, os outros 14%, representam cinco municípios Encantado, Estrela, Lajeado, Taquari e Teutônia que possuem aterros próprios (SILVA, 2013).

No CIPAE G8, todos os municípios destinam de maneira adequada seus RSU, através de contratos de prestação de serviços com empresas terceirizadas, que realizam a coleta, transporte, triagem, transbordo e destinação final. Os RSU são encaminhados para centrais de triagem, onde são separados os materiais recicláveis, matéria orgânica e o rejeito (PMSB, 2015).

Sendo que o material reciclável é comercializado e o orgânico e o rejeito são encaminhados para disposição final em aterros sanitários, localizados nos municípios de Candiota e Minas do Leão (PMSB, 2015). No Quadro 2 são apresentados os municípios integrantes do CIPAE G8, bem como informações quanto a coleta, triagem, transbordo, transporte e destino final. Na Figura 6 é demonstrada a localização dos municípios pertencentes ao CIPAE G8, as centrais de triagem com transbordo e os aterros sanitários.

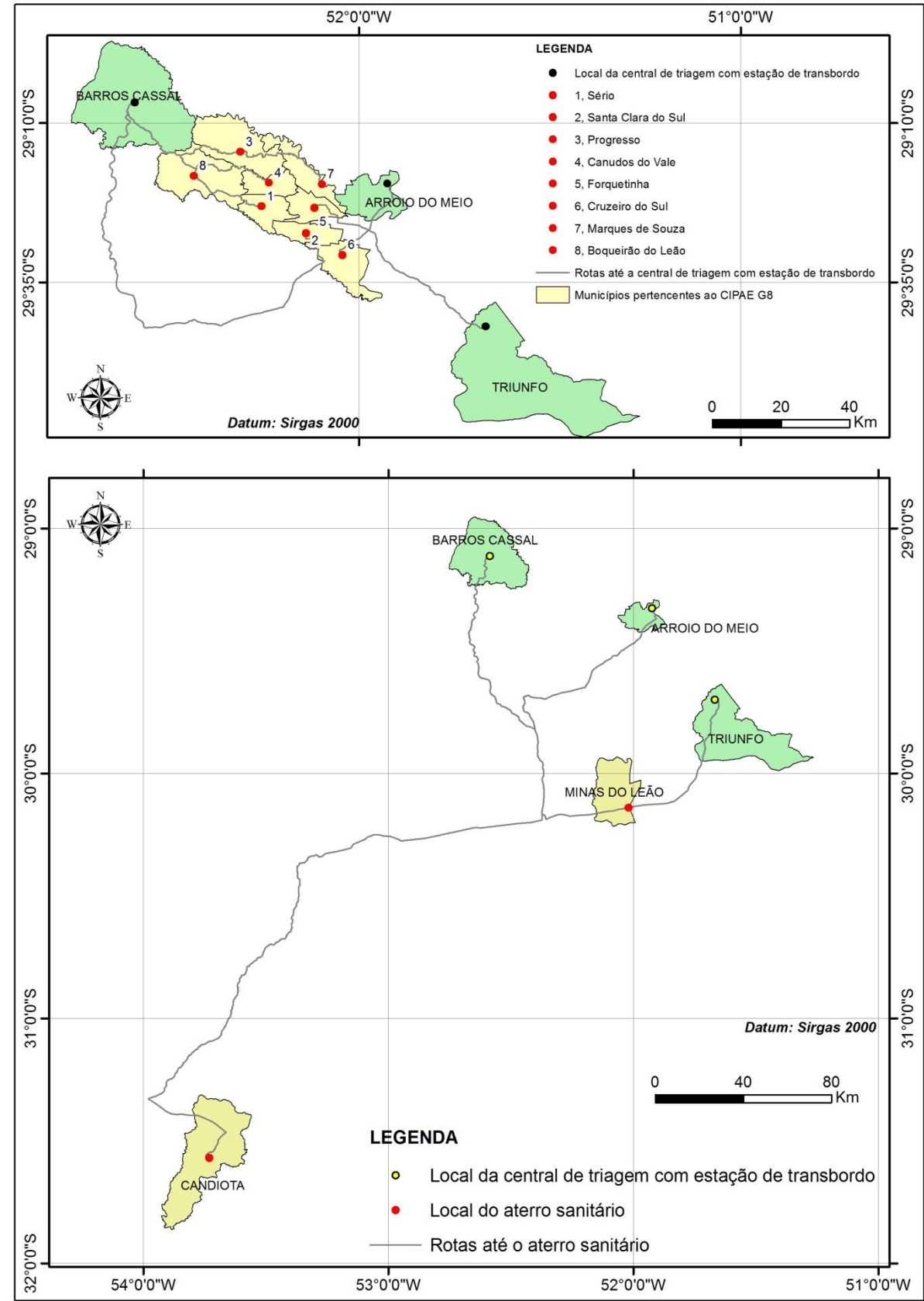
A quilometragem média percorrida pelos municípios do consórcio é de 365,78 km, sendo que a maior distância percorrida é realizada pelo município de Canudos do Vale, em torno de 494 km, o qual encaminha seus resíduos para o aterro sanitário localizado em Candiota/RS. Essa diferença de quilometragem percorrida torna-se uns dos principais agregadores de custos de disposição final dos RSU. Dessa forma, para diminuir a distância percorrida pelos municípios a implantação de um aterro consorciado é uma alternativa aceitável (SILVA, 2013).

Quadro 2: Informações referentes quanto à coleta, triagem, transbordo, transporte e destino final dos RSU, bem como as distâncias até a central de triagem com estação de transbordo e o aterro sanitário

Município	Empresa contratada pela coleta, triagem, transbordo, transporte e destino final	Localização da central de triagem de RSU com estação de transbordo	Distância até a Central de Triagem de RSU com Transbordo (Km)	Empresa administradora do aterro sanitário	Localização do aterro sanitário	Distância até o aterro sanitário (Km)
Boqueirão do Leão	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	34,70	Meioeste Ambiental Ltda - EPP	Candiota/RS	467,70
Canudos do Vale	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	61,00	Meioeste Ambiental Ltda - EPP	Candiota/RS	494,00
Cruzeiro do Sul	Cone Sul Soluções Ambientais Ltda	Arroio do Meio/RS	28,20	Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR)	Minas do Leão/RS	197,20
Forquetinha	Ecotrat Transporte de Resíduos Ltda	Triunfo/RS	102,00	Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR)	Minas do Leão/RS	212,00
Marques de Souza	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	79,90	Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR)	Minas do Leão/RS	257,90
Progresso	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	46,00	Meioeste Ambiental Ltda - EPP	Candiota/RS	479,00
Santa Clara do Sul	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	148,00	Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR)	Minas do Leão/RS	326,00
Sério	Transportes Dartora & Dartora Ltda	Barros Cassal/RS	59,40	Meioeste Ambiental Ltda - EPP	Candiota/RS	492,40

Fonte: Adaptado de PMSB (2015).

Figura 6: Mapa demonstrando a localização das centrais de triagem e transbordo, bem como os aterros sanitários



Fonte: Adaptado IBGE (2013), Google Earth PRO e Autora (2016).

Conforme o PERS, 2014, atualmente, dos 497 municípios gaúchos, 367 (aproximadamente 74% dos municípios e da população do estado) compartilham unidades de disposição final de RSU, representando 11 aterros sanitários compartilhados no estado, desses dez são privados e um é público, pertencente ao Consórcio CIGRES, em Seberi/RS.

Bartholomeu (2011) menciona que se os RSU não forem manejados de forma adequada, apresentando uma infraestrutura correta de gerenciamento e disposição, podem ocorrer alguns problemas, relacionados com os aspectos ambientais, sociais e econômicos, sendo eles:

Aspectos ambientais: Contaminação da água e do solo pelo percolato, poluição do ar pelas emissões de gases e desabamentos e enchentes provocadas pela obstrução de rios e córregos.

Aspectos sociais: Disseminação de doenças e atração de pessoas de baixa renda para os lixões.

Aspectos econômicos: custos com implantação e operação de aterros, custos com a recuperação de áreas degradadas, gastos com a saúde no tratamento de doenças provocadas pela disposição inadequada (BARTHOLOMEU, p. 105, 2011).

Nesse sentido, os consórcios públicos intermunicipais, tornam-se uma ferramenta na busca de novas soluções e tecnologias para a coleta, tratamento e disposição dos RSU. É uma forma viável para alcançar esta finalidade, através da união de esforços na prestação dos serviços com qualidade, preservação do meio ambiente, melhorando a vida da população, bem como diminuição dos custos despendidos com o gerenciamento dos RSU (CALDERAN, 2013).

3.6 Aterros Sanitários

As atividades gerenciais ligadas aos RSU são a coleta, tratamento e a disposição final, depois de esgotadas todas as alternativas de tratamento, o rejeito resultante deve ser conduzido à disposição final ambientalmente adequada, isto é, em aterros sanitários (LOURENÇO et al., 2015).

Os aterros sanitários são atualmente uma das melhores técnicas para disposição final dos RSU. A NBR nº 8.419 de 1984, define como aterro sanitário,

uma alternativa ambientalmente adequada para disposição de RSU no solo, técnica que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível. Isso reduz significativamente os danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais.

O aterro sanitário é a forma de disposição de RSU no solo, porém apenas os resíduos que apresentarem características que impeçam o seu reaproveitamento. Utilizando-se de técnicas de engenharia, tais como sistema de impermeabilização e drenagem de gases e lixiviados, que devem ser tratados em estação de tratamento de efluente, apresentando-se como solução técnica viável economicamente e ambientalmente aceita perante a legislação, dessa forma, minimizando os impactos ambientais e os danos à saúde pública (NETO et al., 2010).

Para Nogueira e Rocha (2001), aterro sanitário é definido como um equipamento urbano de infraestrutura, integrante de um sistema de engenharia sanitária e ambiental, destinado à disposição final e tratamento dos resíduos sólidos, de forma a permitir que os mesmos sejam confinados sob o solo, e que os líquidos e gases gerados das reações químicas que resultem dos processos de decomposição sejam devolvidos ao meio ambiente com o mínimo de impacto.

Afirmando as citações acima, a Lei Federal nº 12.305/2012, considera os aterros sanitários a técnica ambientalmente mais adequada para disposição final, atendendo às normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Contudo, para a implantação de um aterro sanitário, é necessário levar em consideração vários aspectos, tais como, a seleção de áreas, o licenciamento ambiental, o projeto executivo, implantação e operação, bem como a viabilidade técnica-financeira (RIBEIRO, 2011).

A Resolução CONAMA nº 404/2008, estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos (disposição diária de até 20 toneladas). Conforme o PIGIRS do CIPAE G8, os municípios geram em torno de 16,57 toneladas por dia, logo a Resolução CONAMA nº 404/2008 cita em seu Art. 1º:

Art. 1º Estabelecer que os procedimentos de licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte sejam realizados de forma simplificada de acordo com os critérios e diretrizes definidos nesta Resolução.

§ 1º Para efeito desta Resolução são considerados aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até 20 t (vinte toneladas) de resíduos sólidos urbanos.

§ 2º Nas localidades onde exista um incremento significativo na geração de resíduos pela população flutuante ou sazonal, esta situação deve ser prevista no projeto, o qual deverá contemplar as medidas de controle adicionais para a operação do aterro.

§ 3º O disposto no caput limita-se a uma única unidade por sede municipal ou distrital (CONAMA nº 404/2008).

Os critérios básicos que devem ser priorizados para a operacionalização de um aterro sanitário é a caracterização do município, através da elaboração de um diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos no local, identificando a geração *per capita* de resíduos, relacionado com a quantidade de RSU gerada diariamente e o número de habitantes, bem como a realização de um estudo que visa levantar informações sobre a caracterização dos resíduos sólidos gerados, onde se pode destacar a realização da composição gravimétrica (MMA, 2009).

A composição gravimétrica é um estudo de suma importância no contexto municipal e regional, pois através do mesmo, é possível avaliar as políticas públicas de gestão de resíduos sólidos domésticos, subsidiando as melhorias no gerenciamento desses resíduos (KONRAD, CASARIL E SCHMITZ, 2010). Os componentes mais comuns da composição gravimétrica são: matéria orgânica, materiais recicláveis e o rejeito.

Para a implantação de um aterro sanitário é necessário realizar uma projeção populacional, sendo este um dos principais parâmetros para o dimensionamento do aterro sanitário. Realizar uma projeção adequada da população, assegura a otimização dos recursos a serem empregados. Outro ponto importante é quanto ao horizonte de projeto para o aterro sanitário, normalmente é considera-se a previsão de vida útil de 20 anos (MMA, 2009).

Cabe ressaltar, que os aterros sanitários deveriam receber o mínimo de resíduos possível, garantindo maior tempo de vida útil e minimizando os impactos ambientais. Para tanto, é necessário que os municípios implantem a coleta seletiva e a colaboração plena por parte dos munícipes, separando a matéria orgânica, materiais recicláveis e o rejeito (KONRAD; CASARIL; SCHMITZ, 2010).

Os aterros sanitários são considerados atividades que impactam de alguma forma o meio ambiente. Para a implantação e operacionalização de um aterro sanitário é necessária a realização do licenciamento ambiental, o qual é um procedimento administrativo onde o órgão competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação do empreendimento (MMA, 2009).

De acordo com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS (FEPAM), órgão vinculado à Secretaria Estadual do Meio Ambiente, aterro sanitário é considerado de alto potencial poluidor, sendo assim, deve-se realizar licenciamento ambiental junto a esta Fundação, através do preenchimento do formulário para licenciamento de atividades de resíduos sólidos da FEPAM, bem como, apresentar toda a documentação necessária e seguir todas as condicionantes que são estabelecidas.

Para a apresentação dos projetos de aterros sanitários, devem-se seguir as normativas, NBR 13.896/1997 aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação – procedimento e a NBR 8.419/1992, a qual estabelece a apresentação de projetos de aterros sanitários de RSU, que institui as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos.

Ainda, o estado do Rio Grande do Sul, através da FEPAM dispõe da Norma Técnica nº. 003/95 de 12 de novembro de 1995, que estabelece a classificação dos empreendimentos de processamento e disposição final no solo de RSU, quanto à exigibilidade de estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) no licenciamento ambiental.

De acordo com a FEPAM, Norma Técnica nº 003/95 consideram-se como áreas com restrições ambientais aquelas que apresentarem:

- Unidades de Conservação sob proteção especial;
- Unidades de Conservação (UC) em seu entorno;
- Abrangência da Mata Atlântica;
- Região costeira abrangida pelo Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro (GERCO);
- Áreas de Preservação Permanente (APP) de acordo com Código Florestal;

- Florestas nativas;
- Previsão de implantação de planos ou zoneamentos municipais, estaduais e federais ou onde serão implantadas outras atividades importantes para o desenvolvimento regional ou municipal;
- Localização no perímetro urbano dos municípios;
- Caracterizações geológicas, geomorfológicas e geotécnicas representam dificuldades para as soluções técnicas conhecidas de controle de poluição;
- Constituição de zonas de recarga de aquíferos;
- Região Metropolitana de Porto Alegre e aglomerações urbanas definidas em lei e;
- Restrição de usos, ou de importância do ponto de vista ambiental, atendendo às legislações federal, estadual e municipal, e normalização de órgãos federais, estaduais e municipais.

Entretanto, para a implantação de aterros sanitários são necessários estudos aprofundados que demandam técnicas e investimentos para sua instalação, outro ponto a se ressaltar é quanto a sua operacionalização que exigem despesas mensais, tais como corpo de funcionários e constante manutenção das instalações (KAJINO, 2005).

Além disso, destaca-se a importância da projeção populacional, a quantidade de RSU gerados, bem como o tempo mínimo de vida útil do aterro sanitário (BORN, 2013), para a verificação dos investimentos e os custos de operação. Com isso, a elaboração de um cronograma físico financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento.

3.6.1 Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários

A primeira etapa para a implantação de um aterro sanitário é a seleção da área, porém, Monteiro et al. (2001), afirmam que não é uma tarefa simples, mencionado:

O alto grau de urbanização das cidades, associado a uma ocupação intensiva do solo, restringe a disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de lixo e com as dimensões requeridas para se implantar um aterro sanitário que atenda às necessidades dos municípios (MONTEIRO et al., 2001, p. 151).

A seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é uma das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios, pois uma área adequada deve reunir um grande conjunto de condições técnicas, econômicas e ambientais, que demandam o conhecimento de um grande volume de dados e informações, normalmente indisponíveis para as administrações municipais (CHERNICHARO et al., 2008).

Porém é necessário realizar a seleção da área para implantação de um aterro sanitário, pois evita custos desnecessários e principalmente minimiza os riscos ambientais e sociais. A área selecionada para a implantação do aterro sanitário deve ser aquela que melhor possibilite as seguintes condições, conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3: Condições para selecionar áreas para implantação de um aterro sanitário

Menor potencial para geração de impactos ambientais:	• Localização fora de áreas de restrição ambiental; • Aquíferos menos permeáveis; • Solos mais espessos e menos sujeitos aos processos de erosão e escorregamentos; declividade apropriada; • Distância de habitações, cursos d'água, rede de alta tensão;
Maior vida útil para o empreendimento:	• Máxima capacidade de recebimento de resíduos;
Baixos custos de instalação e operação do aterro:	• Menores gastos com infraestrutura; • Menor distância da zona urbana geradora dos resíduos; • Disponibilidade de material de cobertura;
Aceitabilidade social:	• Menor oposição da comunidade vizinha.

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al. (2008).

Quanto à avaliação de adequabilidade da área para a construção do aterro sanitário, a mesma deve ser tal que:

- O impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
- A aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- Esteja de acordo com o zoneamento da região;
- Possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação (NBR 13.896/1997).

Para a seleção da área para disposição dos RSU de forma ambientalmente adequada, devem ser seguidos os critérios técnicos, ambientais, operacionais e sociais, apresentados na NBR 13.896 e citados pelos autores Calijuri (2002) e Born (2013), os quais são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4: Critérios técnicos, ambientais, operacionais e sociais para implantar um aterro sanitário

	Critérios	Definições/Observações
Restrição	Cursos hídricos e distâncias dos cursos hídricos	Deve ser avaliada a possível influência do aterro na qualidade e no uso das águas superficiais e subterrâneas próximas. O aterro sanitário deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água;
	Sistema viário (vias de acessos e distância mínima das estradas)	Fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação; Distâncias acima 700 metros do sistema viário, elevam os custos operacionais.
	Áreas urbanas e 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.
Aptidão	Declividade	Esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Para tanto, quanto menor for a declividade, melhor será a área para implantação do aterro sanitário. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
	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 metros; Classe de solos argilosos apresenta baixa permeabilidade;
	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;
	Uso da terra	Os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso da terra. Observando os usos tais como: solo exposto, agricultura, campos, florestas, área urbana, hidrografia e banhados.
	Distâncias das estradas	Quanto maior a proximidade das estradas, maior a aptidão das áreas para implantação do aterro sanitário, devido aos custos de operação;
	Distâncias dos rios	O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos; Para a preservação dos cursos de água, considera-se a menor aptidão para áreas situadas a 200 metros, à medida que a distância aumenta, a aptidão aumenta linearmente, até o limite de 1000 metros;
	Distância da área urbana	Quanto maior a proximidade das áreas urbanas, maior a aptidão das áreas para implantação do aterro sanitário, respeitando a restrição mínima de 500 metros;

Fonte: Adaptado de NBR 13.896 (1997); Calijuri (2002) e Born (2013).

Outros critérios que devem ser levados em consideração são os aspectos legais, quanto às legislações existentes, tais como Lei de Uso e Ocupação da terra, Código de Posturas, Código de Obras, Plano Diretor e situação fundiária da área, incluindo a análise dos custos de eventuais desapropriações.

3.7 Geotecnologias

As geotecnologias constituem-se em um conjunto de tecnologias destinadas para coletar, processar, analisar e oferecer informações com referências geográficas para fins de estudos do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos, que subsidiam diversas demandas do planejamento e gestão territorial. Dentre as geotecnologias pode-se destacar o sensoriamento remoto, geoprocessamento, topografia, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistemas de Informações Geográficas (SIG), entre outros (ROSA, 2005; MORAES, FERREIRA, OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Moraes, Ferreira e Oliveira (2010, p. 01) “as geotecnologias, constituíram-se, ao longo dos anos, em uma ferramenta poderosíssima nas avaliações, planejamento e implantação de soluções com relação à destinação final dos resíduos sólidos urbanos”.

Neste sentido, os usos das técnicas de geoprocessamento, organizando os dados em estruturas de SIG, apresentam um grande desempenho na análise e no gerenciamento de dados espaciais. É de fundamental importância a utilização destas técnicas, tanto na coleta de dados espaciais, na organização e gerenciamento, como na obtenção e disponibilização das informações finais (PRINA, 2015).

Atualmente, o SIG tem sido considerado como um sistema de mapeamento automatizado, capaz de introduzir, administrar e representar dados em mapas. Trentin e Bazzan (2013) mencionam sobre o uso do SIG na análise ambiental, destacando que:

As geotecnologias utilizadas pelo geoprocessamento permitem o tratamento dos dados, desde a sua entrada (dados levantados em fontes primárias e secundárias e trabalhos de campo), passando pela edição (normalização dos dados levantados a fim de adequação à área de estudo), armazenamento (disposição dos dados de forma organizada em um banco de dados a fim de posterior recuperação e consultas de forma rápida e segura) e, finalmente, as análises ambientais, com a extração das informações registradas nos mapas (processamentos e correlações dos dados armazenados) (TRENTIN; BAZZAM, 2013, p.133).

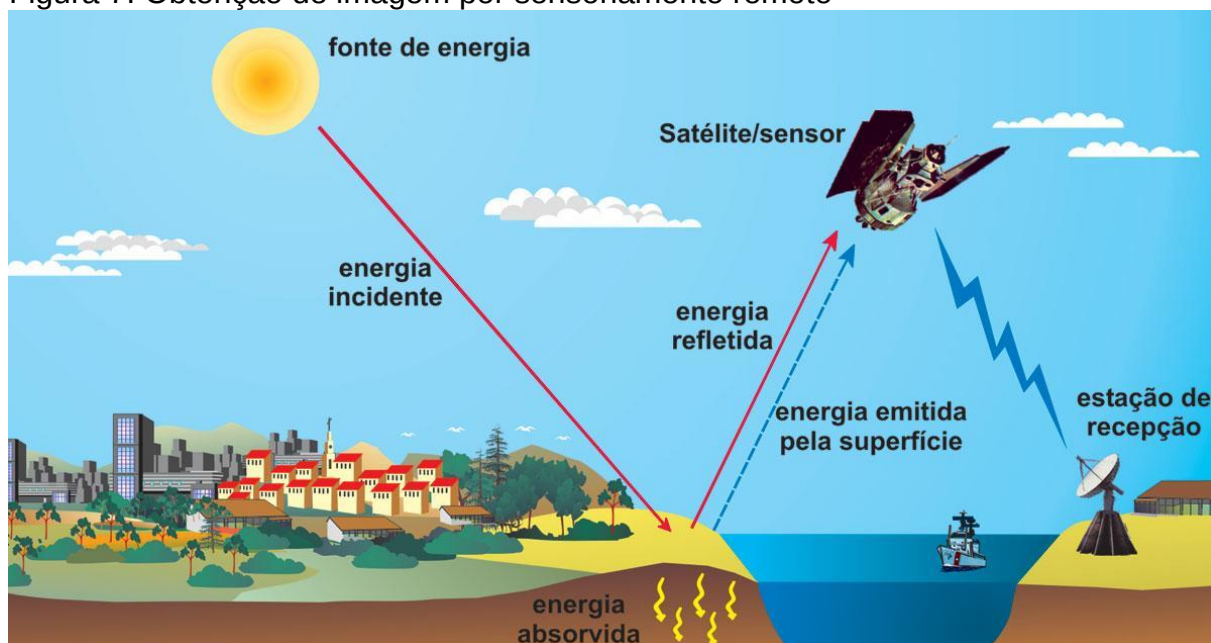
Por fim, as geotecnologias tornam-se grandes aliadas na identificação das áreas aptas para a implantação de aterros sanitários, pois é um instrumento capaz de realizar análise físico-territorial, auxiliando os municípios no planejamento urbano e na tomada de decisões sob uma visão perceptiva da realidade (LOURENÇO et al. apud BATISTELLA; MORAN, 2008).

3.7.1 Sensoriamento remoto

Pode-se definir como sensoriamento remoto um processo através do qual é coletada informação a respeito de um objeto, área ou fenômeno, sem contato físico com eles. Dessa forma, o sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, que são acoplados em aeronaves, satélites, ou outras plataformas, tendo como finalidade estudar os eventos, acontecimentos e procedimentos que incidem na terra, “a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2010, p. 28).

Segundo Jensen (2009), para a aquisição de uma imagem da superfície terrestre, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, a energia é radiada pelas partículas atômicas no Sol, que interagem com a atmosfera e a superfície da terra. Em seguida, retornam para a atmosfera atingindo o sensor, assim a energia interage com vários componentes, tais como, ópticos, filtros, emulsões de filmes, ou detectores. Dessa forma, apresenta-se o princípio básico de funcionamento do sensoriamento remoto, que através dessas interações obtém-se a imagem da superfície terrestre, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Obtenção de imagem por sensoriamento remoto



Fonte: Bernardes e Suertegaray (2009).

De acordo com Figueiredo (2005), a radiação solar que incide na superfície do globo terrestre interage de maneira diferente com cada tipo de alvo, devido ao comportamento espectral de cada alvo terrestre. Isso ocorre, devido as diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres. Desse modo, os diferentes alvos terrestres possuem sua própria assinatura espectral, absorvendo ou refletindo de maneira distinta cada uma das faixas do espectro da luz incidente.

Atualmente há diversos satélites operando, que fornecem imagens em diferentes resoluções espaciais e bandas espectrais, de todo o planeta, dentre estes pode-se citar o *Landsat*. Os satélites da série *Landsat*, são muito utilizados em trabalhos científicos, pois apresentam média resolução, e a aquisição de suas imagens são de forma gratuita. Atualmente, o satélite em operação dessa série é o *Landsat 8*, transmitindo imagens a partir do ano de 2013 (SANTOS et al., 2014).

Nesse contexto, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta que proporciona a obtenção de informações da superfície terrestre, como por exemplos da área do presente estudo, em seus aspectos físicos. Sendo estes aspectos de significativa importância para a avaliação da aptidão de área para disposição final de RSU, apresentando um resultado final de maneira rápida e eficiente.

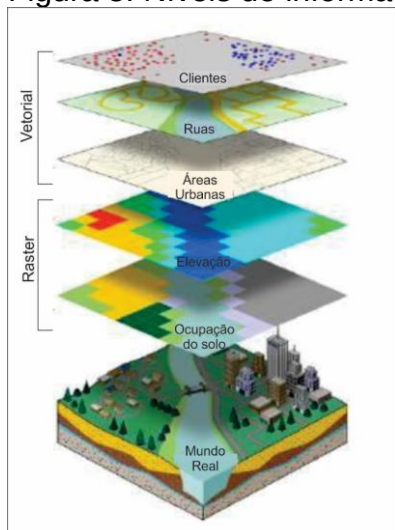
3.7.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento é definido como um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais, que opera sobre bases de dados georreferenciados, para transformá-los em informação relevantes, ou seja, uma ferramenta que propícia na geração de análises para o apoio a tomada de decisão (SILVA, 2009).

Conforme Piroli (2010), uma das principais características do geoprocessamento é a capacidade de integrar uma gama de conhecimentos específicos, que quando unidos permitem ao profissional desenvolver atividades em diversas áreas do conhecimento, possibilitando realizar análises complexas, através do processamento de informações georreferenciadas, utilizando o SIG e equipamentos (computadores).

De acordo com Câmara e Davis (2001), as ferramentas computacionais para geoprocessamento, denominadas de SIG, são capazes de realizarem análises complexas, integrando informações (dados) de diversas fontes e desenvolver bancos de dados georreferenciados, para a realização de uma análise conjunta, originando produtos cartográficos, relacionados principalmente à localização de informações sobre a superfície terrestre. Na Figura 8 são demonstrados os níveis de informação em SIG.

Figura 8: Níveis de informação em SIG



Fonte: Martins (2013).

Para a realização da gestão e planejamento urbano, o SIG vem sendo, ao longo dos anos, um instrumento importante, tornando-se um recurso viável financeiramente e temporalmente na elaboração e no controle das políticas públicas voltadas aos municípios (MOURA, 2014).

Câmara e Queiroz (2001) e Piroli (2010) afirmam que o SIG é um sistema de informação que permite realizar a manipulação de dados geograficamente referenciados, seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica, ou seja, para cada objeto geográfico, o SIG armazena seus atributos, bem como várias representações gráficas associadas, apresentando uma série de aplicações, tais como na agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia). Cabe mencionar que há três maneiras de utilizar um SIG na área geográfica, sendo elas:

- Utilizados como ferramenta para produção de mapas, bem como para a geração e visualização de dados espaciais;
- Empregados como suporte para análise espacial de fenômenos e para a combinação de informações espaciais, e;
- Usados como bancos de dados geográficos, que tem funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

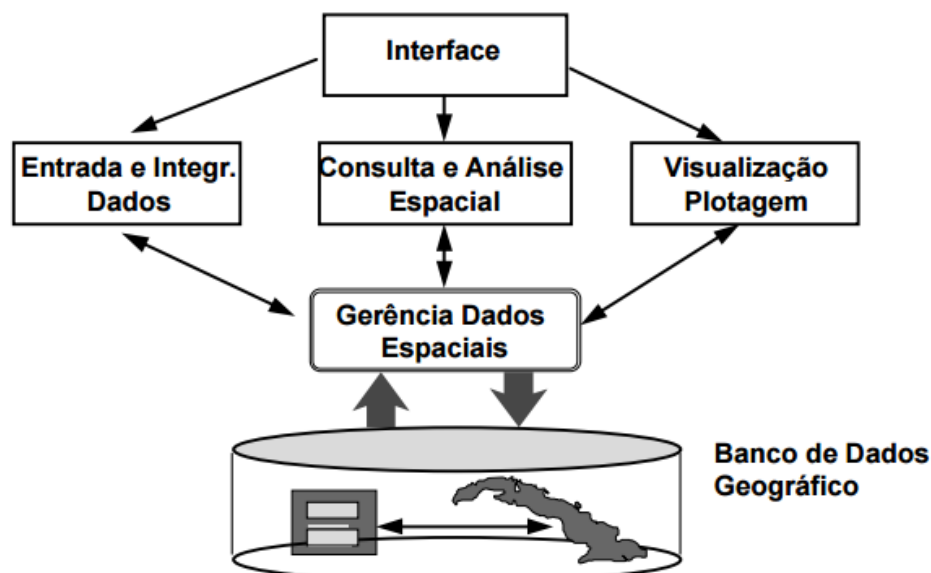
Câmara e Queiroz (2001) mencionam que dentre as características do SIG, pode-se citar:

- Permite inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

O SIG apresenta uma estrutura composta por elementos, tais como interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de consulta e análise espacial; visualização e plotagem e armazenamento e recuperação de dados (organizados

sob a forma de um banco de dados geográficos), conforme é demonstrado na Figura 9 (CÂMARA; QUEIROZ, 2001).

Figura 9: Estrutura geral de SIG



Fonte: Câmara e Queiroz (2001).

De acordo com Martins (2013), para realizar as estruturas de representação de dados espaciais, a aquisição dos dados em formato digital é a mais usual, pois apresenta baixo custo. A representação digital do mundo real pode ser representada em formato *raster* (matricial) ou *vector* (vetorial). Na estrutura matricial, o espaço é dividido em retângulos formando células, podendo ser denominadas de *pixels*. Já a estrutura vetorial, é baseada nos elementos geométricos básicos, sendo eles, pontos, linhas e áreas. Esses conjuntos de informações formam os dois tipos de atributos do mapa, que são os arquivos gráficos e não gráficos, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10: Representação dos formatos digitais



Fonte: Santos (2015).

A ferramenta de geoprocessamento é um importante recurso para a análise e seleção de áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário (BORTOLATTO; AHLERT, 2012). Torna-se uma ferramenta rápida e de baixo custo, sendo que através dos resultados gerados pode-se realizar uma análise preliminar das áreas aptas para construir um aterro sanitário, levando-se em consideração critérios ambientais e logísticos, como as legislações ambientais, distância da zona urbana, proximidade de vias, distância de cursos d'água, uso e cobertura da terra, entre outros (SANTOS; GIRARDI, 2007).

Portanto, o geoprocessamento é um instrumento que auxilia os municípios na gestão de RSU, pois permite a seleção de áreas adequadas para a disposição final de resíduos, de acordo com as exigências legais e normativas, minimizando os impactos econômicos, sociais e ambientais, de maneira rápida e eficiente.

3.7.3 Ferramenta a apoio à decisão

A tomada de decisão faz parte da vida cotidiana, considera-se uma atividade complexa, levando ao indivíduo escolher não somente alternativas, como também abordagens, valores e pesos diferentes para as mesmas, dentro de um universo com fatores múltiplos, direta ou indiretamente relacionados (NUNES JUNIOR, 2006).

O conceito básico dos vários modelos de tomada de decisão é o de racionalidade, onde os indivíduos e organizações seguem um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível pré-estabelecido de aspirações (MOREIRA; CÂMARA; RAIMUNDO, 2011).

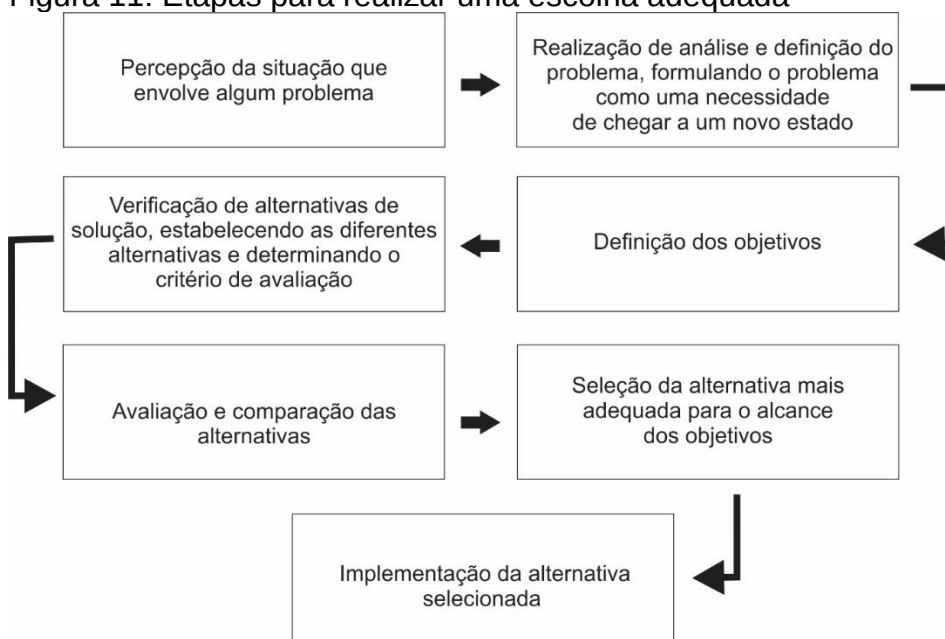
A decisão pode ser definida como a escolha entre alternativas e estas podem ser representadas por diferentes localizações, planos, classificações ou hipóteses sobre um fenômeno. A decisão leva em consideração critérios (sociais, ambientais, operacionais e socioeconômicos) que servem como normas para encontrar as melhores alternativas e representam condições possíveis de quantificar ou avaliar contribuindo para a tomada de decisão (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002).

Para Chiavenato (2003), a decisão é o procedimento de análise perante as alternativas disponíveis e que todo processo de decisão envolve, necessariamente, seis elementos:

1. Tomador de decisão: é o indivíduo que realiza uma escolha entre as alternativas futuras de ação;
2. Objetivos: é o intuito que o tomador de decisão deseja alcançar com suas ações;
3. Preferências: são os critérios que o tomador de decisão utilizará para realizar sua escolha;
4. Estratégia: é o sentido da ação que o tomador de decisão opta para atingir seus objetivos;
5. Situação: são os aspectos do ambiente que envolve o tomador de decisão, alguns deles fora do seu controle, conhecimento ou compreensão e que afetam sua escolha;
6. Resultado: é a consequência ou resultante de uma dada estratégia.

Este modelo racional de tomada de decisão depende das características do tomador de decisões, da situação em que está envolvida, bem como a maneira que se percebe tal situação. O processo decisório preconiza que se deve ter ciência de sete etapas para uma escolha adequada, conforme demonstrado na Figura 11.

Figura 11: Etapas para realizar uma escolha adequada



Fonte: Adaptado de Moreira, Câmara e Raimundo (2011) e Chiavenato (2003).

Portanto, o modelo de apoio à tomada de decisão é um processo que leva em consideração os sistemas de valores dos decisores na avaliação de suas ações, ou seja, consideram mais de um aspecto e, logo avaliam as ações segundo um conjunto de critérios. Com isso, cada critério é uma função matemática que mensura o desempenho das ações potenciais com relação a um determinado aspecto (ENSSLIN et al., 2001; BORN, 2013).

Os critérios utilizados para o procedimento de tomada de decisão são considerados:

Como critérios restritivos e critérios fatores. Respectivamente, as restrições diferenciam áreas que podem ser consideradas aptas para a instalação do parque, daquelas que não são aptas sob condição alguma, constituindo normalmente mapas booleanos com classes do tipo apto/não apto. Fatores, por outro lado, são critérios que definem algum grau de aptidão para área considerada. Eles definem áreas ou alternativas em termos de uma medida contínua de aptidão, realçando ou diminuindo a importância de uma alternativa em consideração naqueles locais fora das restrições absolutas (Hasenack, 1998, p. 3).

Segundo Biju (2015), a ferramenta de tomada de decisão implica em um conjunto que atribui valores para as alternativas que estão sendo avaliadas para um objeto específico, onde os dados espaciais são combinados, processados e transformados em uma decisão, sendo que esta ferramenta fornece diferentes técnicas onde as tomadas de decisões podem ser estruturadas, projetadas e avaliadas.

Considerando que as variáveis que interferem na escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão (priorização dos multicritérios), logo se estabelece uma ponderação de acordo com a importância de cada uma para a aptidão da área. Dessa forma, a metodologia mais utilizada para estimar o peso final de cada variável é através do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*), aplicado à matriz de comparação par a par (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002).

Os processos de decisão pretendem satisfazer a um ou múltiplos objetivos, e são desenvolvidos com base na avaliação de um ou vários critérios (EASTMAN, 1997). No caso deste estudo, levando-se em consideração todo o processo decisório, a análise da aptidão de uma área dentro do perímetro territorial do CIPAE

G8, visando à instalação de um aterro sanitário consorciado, sendo este um processo de decisão de natureza que envolve múltiplos critérios, no qual são considerados diversos atributos que implicam na avaliação e seleção de áreas aptas, entre várias alternativas possíveis, com base em alguns critérios (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002).

3.7.3.1 Análise por múltiplos critérios

O conceito de múltiplos critérios é um procedimento que utiliza mais de um critério. Estes critérios são empregados como parâmetros de avaliação para selecionar uma alternativa perante a um conjunto de opções, permitindo realizar comparações entre as mesmas, além disso, podem abranger diferentes aspectos, tais como físicos, biológicos, socioculturais e econômicos (CAMPOS; CAZARINI, 2010).

Segundo Zambon et al. (2005), a integração do SIG e da metodologia *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), vêm proporcionando inúmeros benefícios para a análise de problemas e tomada de decisão e planejamento, utilizando-se vários critérios de avaliação.

A análise e tomada de decisão por multicritério é uma ferramenta utilizada para tomada de decisões, especialmente quando são usados diferentes critérios e tem-se a necessidade de convergência entre eles. Com isso, esta ferramenta realiza a análise de diferentes cenários ao mesmo tempo, assim fornecendo base e auxiliando os envolvidos no momento de tomar uma decisão (BIJU, 2015).

A MCDA consiste em modelos matemáticos que integram valores e decisões do avaliador, com o objetivo de considerar diferentes fatores relevantes (sociais, ambientais e econômicos) de maneira a possibilitar uma análise mais específica dos pontos positivos e negativos das alternativas de ação para um dado sistema (LUCENA, 1996).

Dentre as aplicações dos diferentes métodos de MCDA, utilizam como ferramenta a matriz de decisão e são seguidos três passos para o auxílio à decisão, a determinação dos critérios e alternativas, bem como a atribuição de pesos e síntese dos resultados (GOMES; GOMES; ALMEIDA, 2002).

De acordo com Calijuri (2000), os critérios podem ser de dois tipos, de restrições e fatores. As restrições estão amparadas em critérios booleanos, ou seja, verdadeiros ou falso, 0 ou 1, que limitam a análise a regiões geográficas específicas, diferenciando-as em aptas e não aptas. Já os fatores, são considerados critérios que determinam algum grau de aptidão para todas as regiões geográficas, aptidão esta normalmente medida numa escala contínua e abrangendo todo o espaço de solução previsto inicialmente.

O critério booleano (aplicações em SIG vetoriais) aplica uma condição binária nos dados de entrada, tendo como resultado condicional booleana, sendo a condição “falsa” representada pelo valor de zero, e a condição verdadeira pelo valor um, ou seja, zero ou um (ESRI, 2014). É um método prático, porém, normalmente não é o mais adequado, pois o ideal é que as variáveis com importâncias relativas diferentes recebam pesos diferentes e não sejam tratadas igualmente (0 ou 1) como acontece (CÂMARA et al., 2001).

Referindo-se aos fatores, adota-se o método *fuzzy* (aplicações em SIG *raster*), a combinação de critérios contínuos se dá através da normalização para uma escala contínua dentro de um intervalo estabelecido, como por exemplo, 0 a 1, esta técnica consiste em atribuir a cada fator o peso da sua importância no processo de agregação de dados, designado de combinação linear ponderada (MOREIRA; CÂMARA NETO; ALMEIDA FILHO, 2004).

Calijuri (2002), com a teoria *fuzzy*, obteve-se uma estrutura conceitual apropriada de tomada de decisão, pois a mesma auxilia a diminuir a subjetividade na escolha e aumentar o raciocínio no processo de decisão.

Para obter o resultado final, ou seja, no caso deste trabalho, encontrar as áreas mais aptas para a implantação de um aterro sanitário consorciado, devem-se determinar os pesos para cada uma das bases a serem utilizadas, uma maneira de

diminuir a subjetividade, é através do método AHP, o qual foi elaborado por Tomas L. Saaty no final da década de 1970.

Este método tem a finalidade de auxiliar a tomada de decisões complexas, baseando em critérios qualitativos e quantitativos. Ele define qual a decisão correta a ser tomada, bem como auxilia o decisor a escolher e justificar suas escolhas. Tem como base a representação de um problema complexo através de uma estrutura hierárquica de decisão, com o objetivo de priorizar os fatores na análise das diversas alternativas (MORAIS; RIBEIRO; LARENTIS, 2012).

Nesse contexto, o uso das diversas técnicas de geoprocessamento incorporado ao ambiente informatizado dos SIG, através do método multicritério, é uma das ferramentas mais difundidas no apoio à tomada de decisão e apresenta um enorme potencial para a análise da aptidão de áreas adequadas para implantação de aterro sanitário (LOURENÇO et al., 2015).

Portanto, a aplicação das metodologias de apoio à tomada de decisão, constituem importantes subsídios para alcançar os objetivos propostos do presente trabalho. De maneira que a seleção da área para implantação do aterro sanitário consorciado, possa garantir as melhores condições de preservação da qualidade ambiental, evitando os danos ou riscos à saúde e a segurança pública.

3.7.4 Estudos realizados com aplicação de geotecnologias para implantação de aterros sanitários

Marques (2011) selecionou o município de Guapó/GO, que apresenta uma população inferior a 50.000 habitantes e realizou a seleção de uma área para implantação de um aterro sanitário simplificado neste município. O autor realizou a estimativa populacional, bem como a estimativa da massa de resíduos gerada no município, considerando um horizonte temporal de 20 anos.

Para a análise e avaliação dos critérios para a seleção de áreas, elaboraram-se duas matrizes: matriz de exclusão e matriz de ponderação, os parâmetros das

matrizes foram aplicados à área de estudo com o auxílio do SIG. Segundo o autor, as ferramentas do SIG mostraram-se eficientes no processo de seleção de áreas por permitir a análise dos dados existentes de rápida. A aplicação da matriz de ponderação para hierarquização das áreas demonstrou-se que dificilmente uma área atenderá todas as expectativas legais, sociais, econômicas e ambientais.

Born (2013) realizou a avaliação da aptidão de áreas para a instalação de aterro sanitário com o uso de ferramentas de apoio à decisão por múltiplos critérios. No estudo utilizou-se a lógica *fuzzy* e análise multicritério, análises booleanas, *softwares* ArcGIS e Idrisi. Inicialmente, realizou-se o levantamento das informações existentes, a seleção e definição dos fatores, restrições e ponderação dos fatores. Após realizou-se a matriz de comparação pareada, rotina de agregação, reclassificação em classes temáticas e pôr fim a separação nas áreas da classe de maior aptidão.

A autora concluiu que a análise através de múltiplos critérios, baseada no processo AHP, permite avaliar se o raciocínio utilizado é coerente, além de subsidiar a geração de melhores cenários ao tomador de decisão. A lógica *fuzzy* possibilita a modelagem de cenários ambientais mais precisos. Portanto, o SIG demonstrou-se uma ferramenta eficiente e confiável para a seleção de áreas aptas à implantação de aterro sanitário.

Biju (2015) desenvolveu um estudo com a utilização do sistema de informação geográfica (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção e de demolição, a metodologia adotada foi à utilização do SIG em conjunto com a ferramenta de MCDA, os critérios estabelecidos para esta indicação, foram definidos a partir de normas técnicas, sendo o uso e ocupação da terra, tipos de solo, distância de recursos hídricos, topografia, áreas protegidas por lei, distância dos centros urbanos, distância das principais estradas e rodovias. A normalização dos critérios foi definida de um a cinco, sendo um as áreas com menos aptidão e cinco as áreas com a mais alta aptidão.

O autor realizou a definição dos valores de restrição para os mapas, bem como elaborou-se o questionário Delphi. Em seguida, realizou-se a avaliação por multicritérios (aplicação da MCDA), através de hierarquização dos critérios, álgebra

de mapas e áreas potenciais. Por fim, fez-se a análise das áreas aptas e verificou-se *in loco* para validação dos dados e indicação das áreas. O autor conclui que o SIG é uma ferramenta essencial e de grande valia em todas as etapas do gerenciamento dos resíduos, reduzindo tempo, custos e auxiliando na tomada de decisões.

Pode-se ainda destacar os trabalhos realizados por Calijuri et al. (2002) e Weber e Hasenak (2000). Calijuri et al. (2002) realizaram a identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com o uso de análise estratégica de decisão, no município de Cachoeiro do Itapemirim/ES. Os autores utilizaram a metodologia *fuzzy* e análise multicritério levando em consideração parâmetros operacionais, legais, ambientais e socioeconômicos.

Weber e Hasenak (2000) realizaram a avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados no município de Osório/RS. Os autores utilizaram técnicas de geoprocessamento do *software* IDRISI, integrando variáveis diversas, através da classificação contínua dos dados com base na lógica *fuzzy*.

Realizaram-se a padronização das variáveis para geração dos mapas de aptidão individuais, basicamente converteram-se os valores dos dados originais em escores de aptidão (0 a 255), visando transformar as unidades das variáveis numa única base, possibilitando a agregação dos mesmos em um mapa final de aptidão à implantação de um aterro sanitário. Ainda, foram atribuídos pesos diferenciados a cada variável, de acordo com a importância de cada uma na decisão sobre a aptidão da área para instalação do aterro. Os autores concluem que o SIG é uma ferramenta eficiente na integração de informações espaciais para gestão do uso da terra.

4 METODOLOGIA

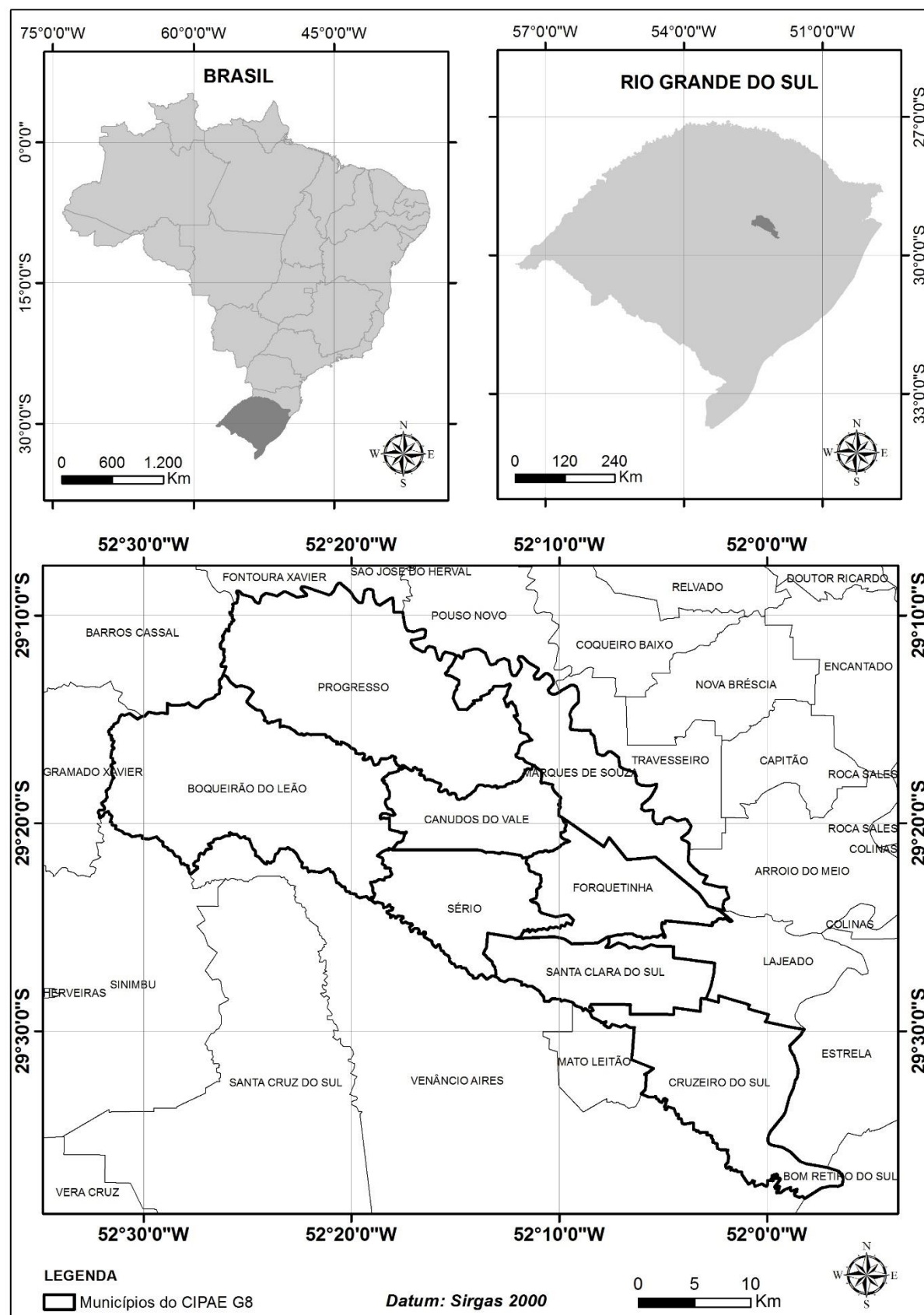
4.1 Caracterização da área de estudo

O CIPAE G8, abrange os municípios de Boqueirão do Leão, Canudos do Vale, Cruzeiro do Sul, Forquetinha, Marques de Souza, Progresso, Santa Clara do Sul e Sério, todos os municípios eram distritos de Lajeado. O CIPAE G8 está localizado no centro-leste do estado do Rio Grande do Sul, na zona alta da região geopolítica do Vale do Taquari, distante em média 139 km de Porto Alegre (IBGE, 2010).

O consórcio apresenta uma área territorial total de 1.162,69 km² e uma população total de 42.488 habitantes, sendo 16.830 habitantes urbanos e 25.658 habitantes rurais, perfazendo uma densidade demográfica de 301,90 hab./km² (IBGE, 2010). A economia é baseada em pequenas e médias propriedades, voltadas principalmente à produção primária, destacando-se os setores avícolas, suínolas e a pecuária leiteira, além da produção de grãos (IBGE, 2010).

Seus limites territoriais ao sul são com o município de Bom Retiro do Sul, a oeste com os municípios de Gramado Xavier, Sinimbu, Venâncio Aires e Mato Leitão, ao norte com Barros Cassal e Fontoura Xavier e a leste com os municípios de Estrela, Lajeado, Arroio do Meio, Travesseiro e Pouso Novo, conforme demonstrado na Figura 12 (IBGE, 2010).

Figura 12: Mapa de localização do CIPAE G8



Fonte: Adaptado de IBGE (2014).

4.1.2 Características físicas

4.1.2.1 Geologia

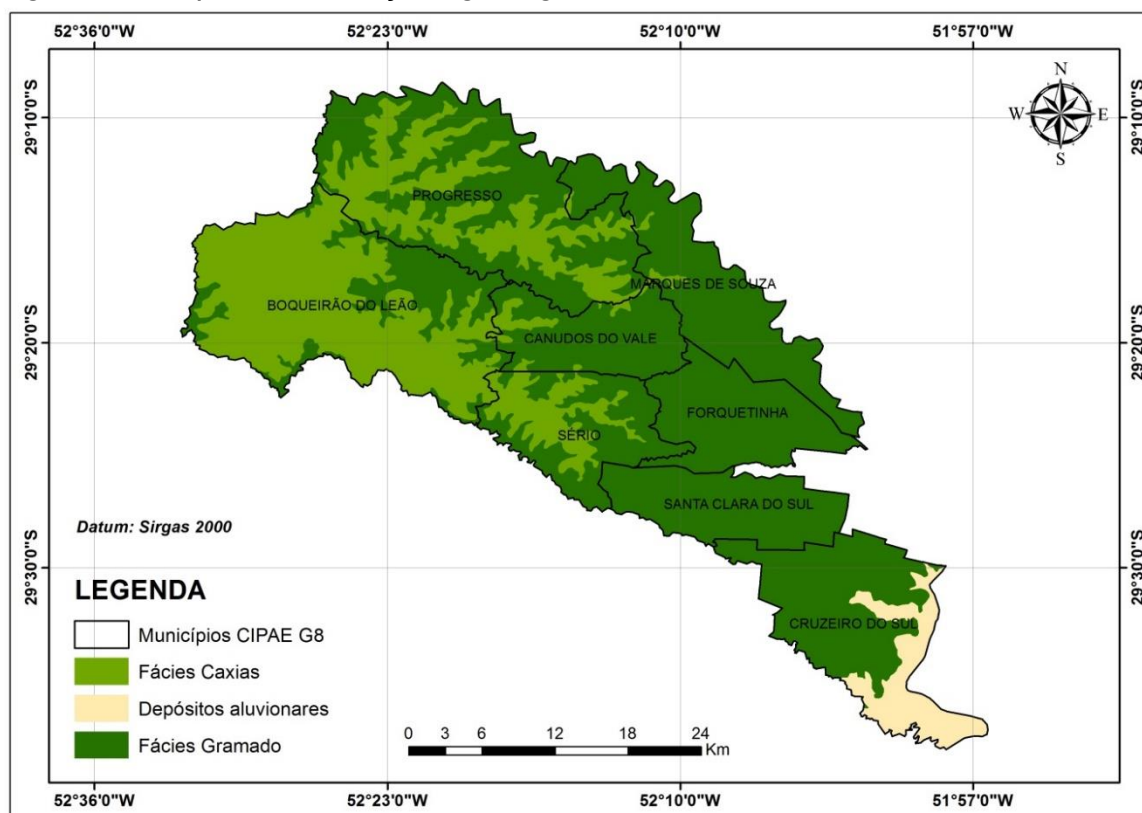
Conforme dados da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o CIPAE G8 encontra-se na porção sudeste da Bacia do Paraná, a qual é uma extensa bacia intracratônica composta por espessos pacotes sedimentares, tendo em seu topo o Grupo São Bento. Dentro do Grupo São Bento, Boqueirão do Leão, Canudos do Vale, Forquetinha, Marques de Souza, Progresso, Santa Clara do Sul e Sério encontram-se sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, mais especificamente Fácies Gramado e Caxias (CPRM, 2008). De acordo com Hoff et al. (2007, p. 235) as Fácies Gramado e Caxias são:

Fácies Gramado: derrames basálticos, datados de 132 milhões de anos, do tipo granulares finos a médios, melanocráticos, contendo níveis de vesículas bem desenvolvidos no topo e incipientes na base dos derrames, normalmente preenchidas por zeolitas.

Fácies Caxias: de idade 131 milhões de anos é caracterizado por derrames de composição intermediária a ácida (riodacítica), mesocráticos, granulares finos a microfaneríticos, tendo horizontes superiores com disjunção tabular 54 bem desenvolvida, raras vesículas preenchidas por sílica. As partes centrais dos derrames se apresentam maciços, podendo apresentar estruturas de fluxo laminar e dobras.

Já o Município de Cruzeiro do Sul encontra-se sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, Fácies Gramado e também depósitos aluvionares (areia e cascalho) (CPRM, 2008), conforme demonstrado na Figura 13. Os depósitos aluvionares são caracterizados por apresentarem cascalhos, areias grossas e finas, sedimentos siltico-argiloso, em calhas de rio e planícies de inundação, localizam-se próximos aos principais cursos hídricos do município (CPRM, 2008).

Figura 13: Mapa das formações geológicas do CIPAE G8



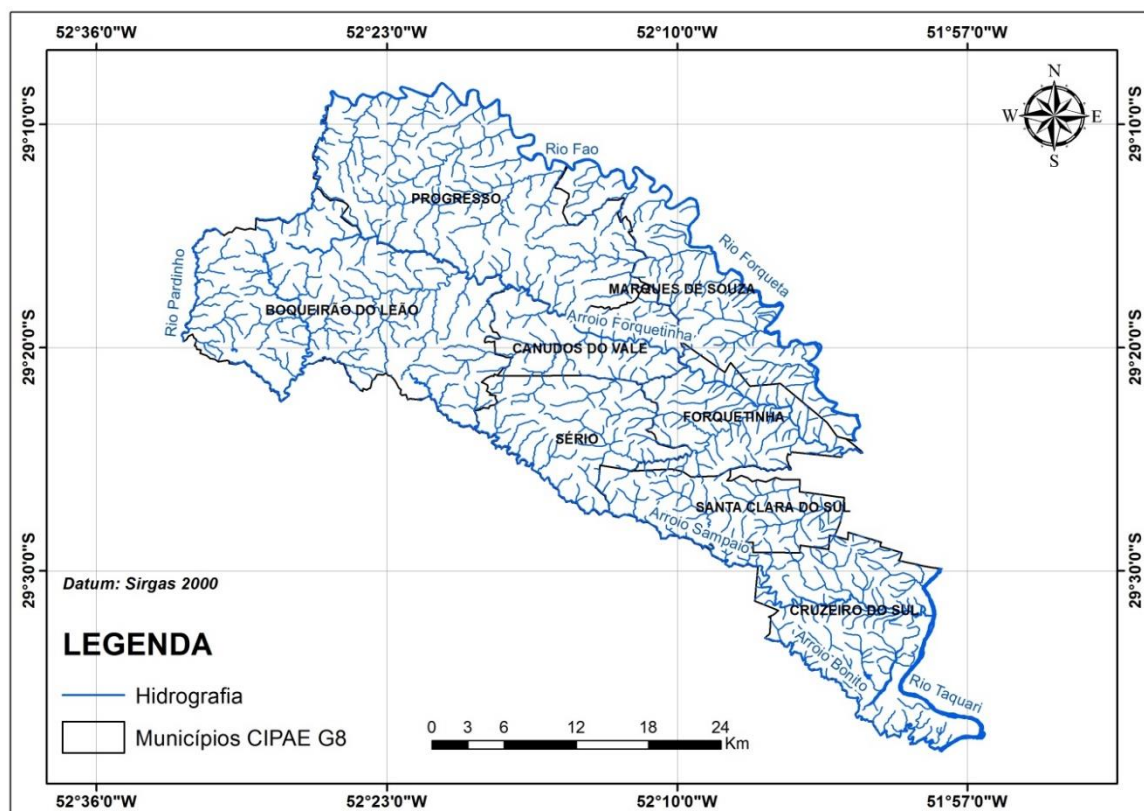
Fonte: Adaptado de CPRM (2006).

4.1.2.2 Hidrografia

O CIPAE G8 pertence à bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, tendo como sub-bacia hidrográfica a do rio Forqueta, porém parte do município de Boqueirão do Leão está inserida na bacia hidrográfica do rio Jacuí, pertencente à sub-bacia hidrográfica do rio Pardo.

Caracterizando a hidrografia pode-se destacar que os principais recursos hídricos existentes no CIPAE G8 é o rio Taquari, Forqueta, Fão e Pardinho, tendo como, principais arroios o Bonito, Sampaio, Forquetinha e o Saraquá, conforme verificado na Figura 14.

Figura 14: Mapa da hidrografia do CIPAE G8



Fonte: Adaptado de Hasenack e Weber (2010).

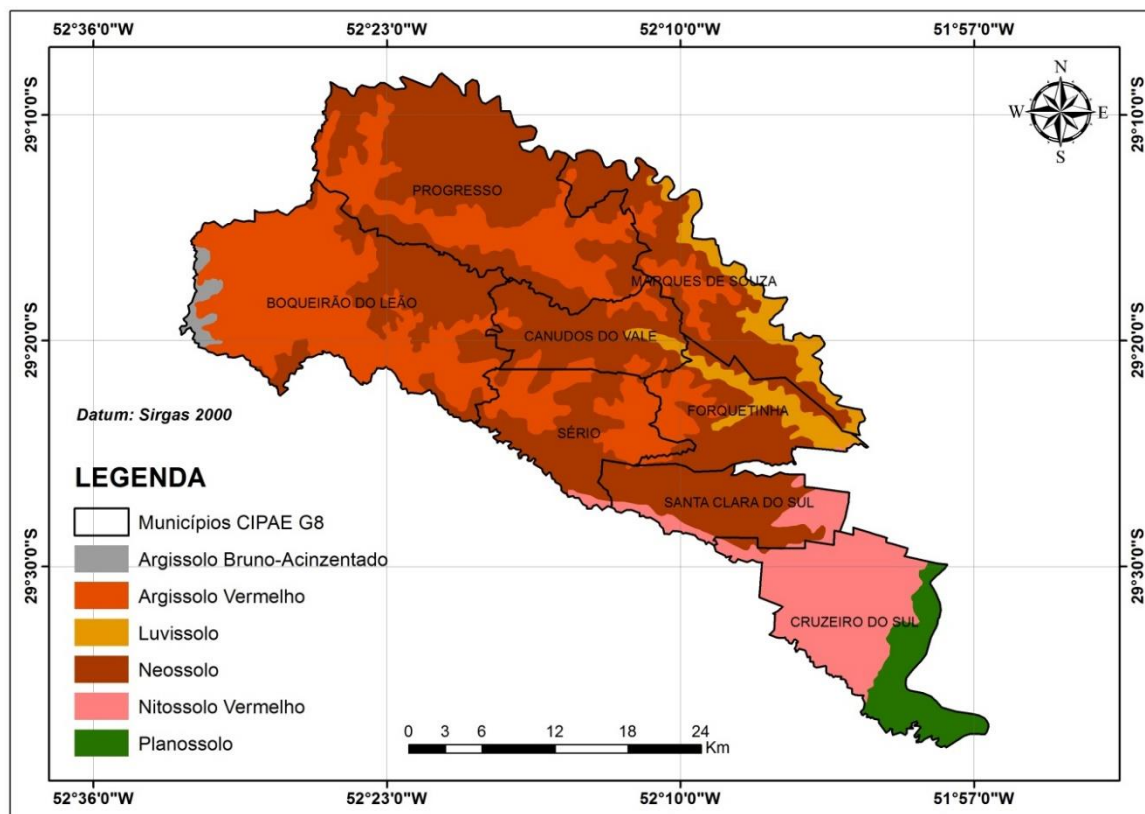
4.1.2.3 Solos

Conforme dados da CPRM que utiliza a classificação da EMPRAPA, o CIPAE-G8 possui quatro tipos de solos, Argissolos, Luvisolos, Planossolos e Nitossolos, mais especificamente, Argissolos Vermelho Alumínicos Típicos, Argissolos Amarelos Alíticos Típicos, Argissolos Bruno Acinzentados Alíticos, Luvisolos Crômicos Pálidos Saprolíticos, Planossolos Háplicos Eutróficos Arênicos e Nitossolos Vermelho Eutroférrico Típico, como demonstrado na Figura 15.

Os solos da classe argissolos são heterogêneos, com maior teor de argilas em suas profundidades, apresentando baixa permeabilidade. Estes solos são bem estruturados e apresentam uma profundidade variável e cores predominantemente avermelhadas ou amarelas (EMBRAPA, 2006).

Quanto à classe Luvisolos, são solos constituídos por material mineral, com argila de atividade alta e alta saturação por bases, este solo apresenta uma profundidade mediana, com cores desde avermelhadas a acinzentadas. Tratando-se dos Planossolos, compreendem solos minerais, que apresentam uma péssima drenagem e ocorrem em áreas inundáveis, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, geralmente de acentuada concentração de argila. Já os Nitossolos são solos constituídos por material mineral, permeável, apresentando textura argilosa, estrutura em blocos angulares, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados (EMBRAPA, 2006).

Figura 15: Mapa dos solos do CIPAE G8



Fonte: Adaptado de CPRM (2008), classificação EMBRAPA.

4.1.2.4 Clima

O RS localiza-se nas zonas de latitude médias, onde os tipos climáticos são controlados por sistemas tropicais e polares, apresentando um clima subtropical úmido (ROSSATO, 2011).

De acordo com Rossato (2011) no RS, o clima subtropical esta subdividido em quatro tipos climáticos, sendo os seguintes:

Subtropical I – Pouco Úmido: Subtropical Ia – Pouco úmido com inverno Frio e Verão Fresco, e Subtropical ib – Pouco Úmido com inverno Frio e Verão Quente;
Subtropical II: Medianamente úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias;
Subtropical III: Úmido com Variação Longitudinal das Temperaturas Médias;
Subtropical IV – Muito Úmido: Subtropical IVa – Muito Úmido com Inverno Fresco e Verão Quente, e Subtropical IVb – Muito Úmido com Inverno Frio e Verão Fresco (ROSSATO, 2011 pg.192).

O CIPAE G8 está inserido em uma região sob influência do clima Subtropical III, ou seja, é um clima úmido com variação longitudinal das temperaturas médias, este encontrado na faixa localizada na escarpa do Planalto Basáltico até o Litoral Norte. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações e atingem a região em 20-23% dos dias anuais. As precipitações ocorrem entre 1700-1800 mm ao ano em 100-120 dias. A temperatura média anual varia entre 17-20°C, a temperatura média do mês mais frio oscila entre 11-14°e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23-26°C (ROSSATTO, 2011).

4.2 Materiais

Para a elaboração do presente estudo foram utilizados os seguintes dados, *softwares* e equipamentos, relacionados abaixo:

Dados:

- Base vetorial dos limites municipais (IBGE, 2014);
- Malha municipal de setores censitários do IBGE (2010);
- Base vetorial da geologia do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006);
- Base vetorial dos solos do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), classificação EMBRAPA;

- Bases planialtimétricas contínuas, adquiridas da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, realizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFRGS (HASENACK; WEBER, 2010);
- Dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizados no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e interpolados para uma resolução espacial de 30 metros (VALERIANO, 2005; 2008);
- Imagens *Landsat 8* para geração de mapas do uso e cobertura da terra (INPE).

Softwares:

- Google Earth Pro;
- ArcGis 10.3;
- AutoCAD 2016;
- ENVI 5.0;
- Microsoft Office (Excel 2013).

Equipamentos:

- *Global system position* (GPS);
- Câmera digital.

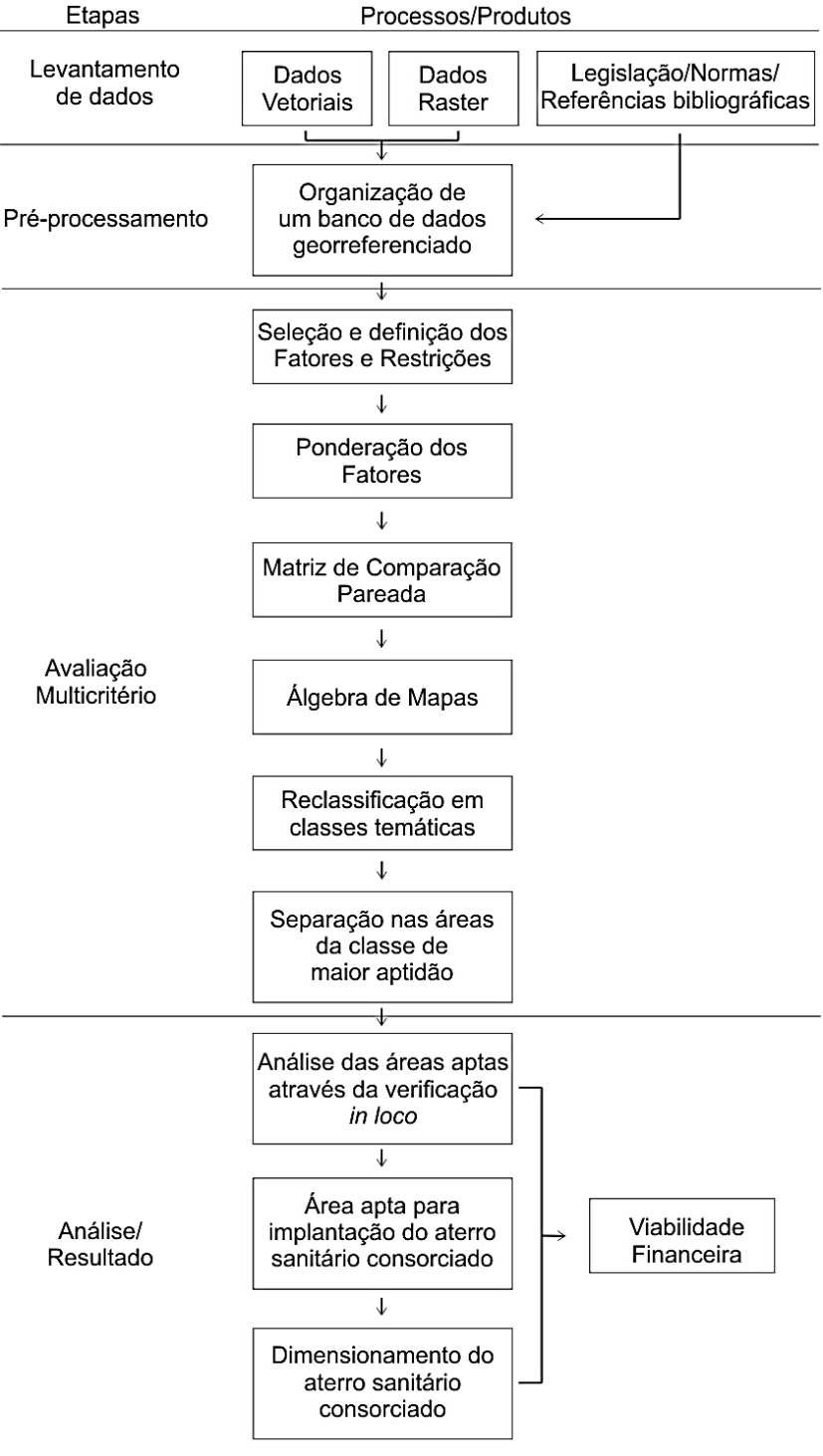
4.3 Métodos

Para atingir os objetivos propostos no presente estudo, inicialmente realizou-se a avaliação das áreas aptas para a implantação do aterro sanitário consorciado, através de geotecnologias. Dentre as diversas ferramentas que auxiliam na seleção de áreas aptas, utilizou-se a lógica *fuzzy*, análise multicritério e sistemas de informações geográficas por meio dos *softwares* ArcGIS 10.3 e ENVI 5.0.

Após a seleção da área, realizou-se a projeção populacional para o CIPAE G8, com um horizonte de 20 anos. Dessa forma, possibilitando estimar o volume dos resíduos gerados, para então dimensionar a área necessária para a implantação do

aterro sanitário. Posteriormente, efetuou-se a viabilidade financeira da implantação do mesmo. A Figura 16 apresenta as etapas desenvolvidas para atingir os objetivos propostos no estudo.

Figura 16: Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Autora (2016).

4.3.1 Seleção de áreas para implantação do aterro sanitário consorciado

A seleção das áreas aptas para a implantação do aterro sanitário implica-se numa decisão entre várias alternativas possíveis, baseadas em critérios de restrição e aptidão. A escolha dos critérios utilizados para o desenvolvimento deste estudo baseou-se em pesquisa bibliográfica aprofundada e legislações, a fim de que fossem selecionados os critérios ambientais e socioeconômicos que representassem com a maior fidelidade possível a realidade da área e subsidiassem a análise desejada, através dos dados disponíveis para este fim.

Primeiramente foram organizadas nove bases de dados georreferenciados das características físicas e operacionais da área de estudo. Assim, resultando nas bases de declividade, geologia, solos, uso e cobertura da terra, distância dos recursos hídricos, sistemas viários, central de triagem e núcleos urbanos, bem como realizou-se uma base de distância a partir do centro do CIPAE G8, para facilitar na logística de transporte dos rejeitos.

4.3.1.1 Estabelecimentos dos critérios de restrição e aptidão

Para a elaboração dos critérios de restrição e aptidão utilizou-se a lógica *fuzzy*, onde os valores de uma determinada variável são expressos em uma escala contínua dentro de um intervalo estabelecido de 0 a 1. Através deste método, realiza-se a padronização das bases, as quais são elencadas a seguir:

- **Distância dos recursos hídricos**

Considerou-se uma distância mínima de 200 metros dos recursos hídricos, conforme estabelecido na NBR 13.896/1997, Portaria nº 124/80 e Lei Estadual nº 9.921/93, a fim de evitar possíveis contaminações dos mesmos. Para a realização desta base utilizou-se a malha hidrográfica da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, onde extraiu-se apenas a hidrografia da área de estudo, com o uso do *software ArcGIS 10.3*. Após, com a utilização da

ferramenta *euclidean distance*, gerou-se uma imagem *raster* onde cada *pixel* corresponde ao valor de distância do recurso hídrico mais próximo.

Em seguida, realizou-se a reclassificação da base, onde se determinou que as distâncias de 0 a 200 metros receberam o valor de 0, ou seja, restritivo, e os valores acima de 200 metros a aptidão aumentava linearmente, ou seja, quanto maior a distância dos recursos hídricos, maior é a sua aptidão, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de aptidão do fator da distância dos recursos hídricos do CIPAE G8

Classificação das distâncias dos recursos hídricos (m)	Valor de aptidão (0 a 1)
0 - 200	0,00
200 - 300	0,30
300 - 400	0,40
400 - 500	0,50
500 - 600	0,60
600 - 700	0,70
700 - 800	0,80
800 - 900	0,90
900 – 1097,72	1,00

Fonte: Autora (2016).

- **Distância dos sistemas viários**

Para a elaboração da base da distância dos sistemas viários, considerou-se a distância mínima de 200 metros e a máxima de 700 metros, conforme trabalhos realizados por Born (2013), Ornelas (2011) e Calijuri et al. (2002). Para isto, utilizou-se a malha viária da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, bem como a malha municipal de setores censitários do IBGE (2010).

No *software ArcGis 10.3* extraiu-se a malha viária da área de estudo das duas bases citadas anteriormente. Após, realizou-se a união das mesmas, pois assim, têm-se dados mais atualizados referentes à área estudada. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *euclidean distance*, para gerar uma imagem *raster* onde cada *pixel* corresponde ao valor de distância do sistema viário.

Posteriormente, realizou-se a reclassificação da base, onde se determinou que as distâncias de 0 a 200 metros e maiores que 700 metros recebessem o valor de 0, ou seja, restritivo. Os valores entre 200 e 700 metros diminuem linearmente sua aptidão conforme se distanciam dos 200 metros, assim, os valores mais próximos de 700 metros receberam menor aptidão (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de aptidão do fator de distância dos sistemas viários do CIPAE G8

Classificação da distância dos sistemas viários (m)	Valor de aptidão (0 a 1)
0 - 200 e >700	0,00
200 - 300	1,00
300 - 400	0,80
400 - 500	0,60
500 - 600	0,40
600 - 700	0,20

Fonte: Autora (2016).

• **Distância dos núcleos urbanos**

Considerou-se a distância mínima de 500 metros dos núcleos urbanos, conforme preconiza a NBR 13.896/97, para evitar problemas, tais como a disseminação de doenças, mau cheiro, proliferação de insetos e roedores, e poluições sonoras causadas pelo tráfego intenso dos veículos coletores. Para tanto, utilizou-se as malhas municipais dos setores censitários do IBGE (2010), através *software ArcGis 10.3* realizou-se polígonos das áreas consideradas núcleos urbanos. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *euclidean distance*, para gerar uma imagem *raster* onde cada pixel corresponde ao valor de distância dos núcleos urbanos.

Por fim, realizou-se a reclassificação da base, onde se determinou que os núcleos urbanos e a distância de até 500 metros deles receberam o valor de 0, ou seja, restritivo. A partir dos 500 metros a aptidão recebeu valor máximo, após conforme a distância dos núcleos urbanos aumentava, a aptidão diminuía linearmente (Tabela 3), recebendo o menor valor a distância de 10,4 Km. Pois, o local da implantação do aterro sanitário não deve ter uma grande distância dos núcleos urbanos, devido ao sistema logístico do transporte dos resíduos e a sustentabilidade ambiental. No caso do CIPAE G8, as distâncias máximas dos núcleos urbanos não ultrapassam 10,4 Km.

Tabela 3: Valores de aptidão do fator de distância dos núcleos urbanos do CIPAE G8

Classificação da distância dos núcleos urbanos (m)	Valor de aptidão (0 a 1)
0 - 500	0,00
500 - 1000	1,00
1000 - 2000	0,90
2000 - 3000	0,80
3000 - 4000	0,70
4000 - 5000	0,60
5000 - 6000	0,50
6000 - 7000	0,40
7000 - 8000	0,30
8000 - 9000	0,20
9000 - 10402,97	0,10

Fonte: Autora (2016).

• **Distância da central de triagem**

Foi elaborada uma base a qual levou em consideração a localização da futura central de triagem situada no município de Progresso, em relação ao local de implantação do aterro sanitário, ou seja, foi estabelecida uma maior aptidão para áreas mais próximas à central de triagem, observando-se o princípio de economicidade para o transporte.

Para a elaboração da base de distâncias da central de triagem foi utilizado uma coordenada geográfica do local de implantação do empreendimento. Após, com o *software ArcGis 10.3*, utilizou-se a ferramenta *euclidean distance*, a qual gera uma imagem *raster*, neste caso delimitada a área do CIPAE G8, onde cada pixel terá um valor referente a distância da central de triagem. Para a padronização dos valores, aplicou-se a lógica *fuzzy*, onde o pixel de maior distância da central de triagem recebe menor aptidão e o mais próximo maior aptidão, em uma escala linear (Tabela 4).

Foram elaboradas seis classes de 0 a 60.000 metros, sendo que na classe de 0 a 10.000 metros foi atribuído o valor de aptidão máxima (peso 1). Para as demais classes de aptidão, foram atribuídos valores menores, diminuindo linearmente o valor de aptidão à medida que se afasta da central de triagem, não dispondo de restrições.

Tabela 4: Valores de aptidão do fator de distância da central de triagem do CIPAE G8

Classificação da distância da central de triagem (metros)	Valor de aptidão (0 a 1)
0 - 10000	1,00
10000 - 20000	0,85
20000 - 30000	0,70
30000 - 40000	0,55
40000 - 50000	0,40
50000 - 60000	0,25

Fonte: Autora (2016).

• Distância da área central do CIPAE G8

Foi elaborada uma base a qual levou em consideração à distância a partir da área central do CIPAE G8, para facilitar na logística de transporte dos resíduos, bem como, garantir a sustentabilidade ambiental. No *software ArcGis 10.3*, com a utilização da ferramenta *feature to point*, gerou-se um ponto central na área do consórcio, após com a ferramenta *euclidean distance*, gerou-se uma imagem *raster* onde cada *pixel* corresponde ao valor de distância do ponto central. Para a padronização dos valores, aplicou-se a lógica *fuzzy*, onde o pixel de menor distância do ponto central recebe maior aptidão e o mais distante menor aptidão, em uma escala linear.

Foi elaborada nove classes de distâncias da área central do território do consórcio, de 0 a 42.698,70 metros. Na classe de 0 a 5.000 metros foi atribuído o valor de aptidão máxima (peso 1) por estar mais próxima do centro. Para as demais classes, foram atribuídos valores menores, diminuindo linearmente o valor de aptidão à medida que se afasta da área central (Tabela 5), porém sem restrições.

Tabela 5: Valores de aptidão da área central do CIPAE G8

Classificação da distância da área central do CIPAE G8 (metros)	Valor de aptidão (0 a 1)
0 - 5000	1,00
5000 - 10000	0,90
10000 - 15000	0,80
15000 - 20000	0,70
20000 - 25000	0,60
25000 - 30000	0,50
30000 - 35000	0,40
35000 - 40000	0,30
40000 - 42698,70	0,20

Fonte: Autora (2016).

• **Declividade**

Para a elaboração da base de declividade utilizou-se a base do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), dessa forma as classes foram determinadas de acordo com a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995).

No site TOPODATA, adquiriu-se os dados de declividade da região onde está localizada a área do consórcio. No *software ArcGis 10.3* realizou-se a extração da declividade específica da área de estudo. Após, reclassificou-se a declividade conforme Ramalho Filho e Beek (1995), para a padronização dos valores, aplicou-se a lógica *fuzzy*, determinando os pesos entre 0 a 1 para cada uma das classes, aplicando maior peso para as classes mais planas e o menor peso para as áreas mais declivosas, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6: Valores de aptidão do fator de declividade do CIPAE G8

Classificação da declividade	Valor de aptidão (0 a 1)
0-3% - Plano	1,00
3-8% - Suave Ondulado	0,85
8-13% - Moderadamente Ondulado	0,75
13-20% - Ondulado	0,40
20-45% - Forte Ondulado	0,00
45-100% - Montanhoso	0,00
100% ou mais - Escarpado	0,00

Fonte: Autora (2016).

Conforme demonstrado na Tabela 6, considerou-se as áreas planas, com faixa de variação entre 0 e 3% de declividade, a mais adequada ao objetivo proposto, pois nestas áreas há pouco ou quase nenhum risco de erosão, recebendo aptidão máxima (peso 1). Seguido pelas áreas com declividade entre 3 e 8% as quais se atribui valor de aptidão 0,85, 8 a 13%, valor de 0,75 e de 13 a 20% valor de 0,40, apresentando algum valor de aptidão, consideradas em conformidade com as normas técnicas. A partir destes intervalos, às faixas com declividade superior a 20% foram consideradas restritivas para a implantação do aterro sanitário.

• **Geologia**

A geologia foi avaliada a partir da base do CPRM, foram consideradas com maior valor de aptidão, as áreas formadas por basalto, devido à sua estabilidade,

conforme estudo realizado por Born (2013). Os depósitos aluvionares são locais inapropriados para instalação do aterro sanitário, caracterizados pela presença de areia e cascalho, visto que a existência destes elementos caracteriza-se por locais próximos de recursos hídricos.

Quanto ao riodacitos (Fácies Caxias) e basaltos (Fácies Gramado), ambos são provenientes de derrames de lava, sendo considerados adequados para a instalação de aterros sanitários, pois apresentam baixa porosidade e consequentemente impermeabilidade. No *software ArcGis* 10.3 extraiu-se do CPRM a geologia referente à área de estudo.

Em seguida, padronizou-se os valores através da lógica *fuzzy*, determinando os pesos numa escala de valores entre 0 e 1, onde a Fácies Gramado recebeu a maior aptidão, seguida das Fácies Caxias e Depósitos Aluvionares. Na Tabela 7 é demonstrado as classes, com seu respectivo valor de aptidão.

Tabela 7: Valores de aptidão do fator de geologia do CIPAE G8

Classificação da Geologia	Valor de aptidão (0 a 1)
Fácies Gramado	1,00
Fácies Caxias	0,70
Depósitos Aluvionares	0,20

Fonte: Autora (2016).

• **Solos**

Os solos foram avaliados através da base vetorial do CPRM, determinando as classes a partir de estudos realizados pela EMPRAPA (2006). Segundo Lanza e Carvalho (2006), solos argilosos possuem uma maior aptidão para a implantação de aterro sanitário, devido a sua composição, ou seja, apresentando uma maior flexibilidade na construção do aterro e também uma baixa permeabilidade, funcionando como um filtro, retendo as substâncias à medida que o percolado se movimenta através dele. Portanto, quanto maior o teor de argila, menor é a permeabilidade e maior a resistência à erosão, assim, maior será a aptidão deste solo para a instalação do aterro sanitário. Considerando estes aspectos, através do *software ArcGis* 10.3 extraiu-se do CPRM os solos referentes à área de estudo.

Para a padronização dos valores, aplicou-se a lógica *fuzzy*, determinando os pesos entre 0 e 1 para cada uma das classes (Tabela 8). Consideraram-se os solos argissolos, os mais adequados ao objetivo proposto, recebendo aptidão máxima (peso 1), devido a sua maior adequabilidade a disposição final do rejeito. Seguido pelos solos neossolos o qual atribui aptidão de valor 0,20, luvisolos valor de 0,10, nitossolos vermelho e planossolos valor de 0,05 (BORN, 2013).

Tabela 8: Valores de aptidão do fator de solo do CIPAE G8

Classificação do Solo	Valor de aptidão (0 a 1)
Argissolo Bruno-Acinzentado	1,00
Argissolo Vermelho	1,00
Neossolo	0,20
Luvissolo	0,10
Nitossolo Vermelho	0,05
Planossolo	0,05

Fonte: Autora (2016).

• Uso e cobertura da terra

O uso e cobertura da terra foi classificado a partir das imagens fornecidas pelo *Landsat 8*, adquirida no INPE, com resolução espacial de 30 metros, órbita-ponto 220-80, do dia 13/08/2016. Foram determinadas as classes de campos, agricultura/solo exposto, silvicultura, vegetação nativa, núcleos urbanos e hidrografia. A imagem adquirida do *Landsat 8*, não necessitou ser georreferenciada, devido que a mesma já estava com seu posicionamento espacial correto. No *software ArcGis 10.3*, realizou-se a composição das bandas de 1 a 8. Posteriormente, extraiu-se da imagem de satélite somente a área de estudo. No *software ENVI 5.0*, realizou-se a classificação da imagem, através da classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança, utilizando o algoritmo *Maximum Likelihood*.

Em seguida, inseriu-se a classificação no *software ArcGis 10.3* e determinou-se os pesos para cada uma das classes. Para a padronização dos valores, aplicou-se a lógica *fuzzy*, determinando os pesos entre 0 e 1 para cada uma das classes.

Para as áreas em que a terra se encontra exposta, recoberta com campos e agricultura/solo exposto atribui-se a aptidão máxima (peso 1), seguida pela

silvicultura, com valor de aptidão 0,60, vegetação nativa com valor de 0,10, enquanto os núcleos urbanos, hidrografia e sombras receberam o valor 0 (restritivas), conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9: Valores de aptidão do fator uso e cobertura da terra do CIPAE G8

Classificação do uso e cobertura da terra	Valor de aptidão (0 a 1)
Campos	1,00
Agricultura/Solo Exposto	1,00
Silvicultura	0,60
Vegetação Nativa	0,10
Núcleos Urbanos	0,00
Hidrografia	0,00
Sombras	0,00

Fonte: Autora (2016).

4.3.1.2 Comparação ponderada dos fatores

Com os pesos determinados para as classes de cada uma das bases, foi definida a contribuição que cada uma das nove bases utilizadas possui para a geração do mapa de aptidão para a implantação do aterro sanitário, buscando diminuir a subjetividade, foi utilizado o processo analítico hierárquico – *Anaytical Hierarchy Process* (AHP).

Realizou-se a comparação pareada, onde se gerou uma matriz e efetuou-se o julgamento comparativo sempre entre duas bases, determinando qual tem maior importância em uma escala de 1/9 a 9, sendo esta necessária para obter-se como resultado o percentual de importância que cada uma das bases tem em relação à implantação do aterro sanitário (MORAIS; RIBEIRO; LARENTIS, 2012). No Quadro 5 é demonstrado as comparações através do método AHP, segundo Saaty (1991).

Quadro 5: Comparações do método AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a 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.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
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 (1991).

No Quadro 6, pode-se verificar uma exemplificação do preenchimento da matriz do método AHP.

Quadro 6: Matriz comparativa (supondo que base 1 domina a base 2)

	Base 1	Base 2
Base 1	1	Avaliação numérica da escala
Base 2	1/avaliação numérica da escala (Recíproco)	1

Fonte: Adaptado de Vargas (2010).

O preenchimento da matriz AHP foi realizado pela autora do presente estudo e também por especialistas da área, bem como um representante do CIPAE G8. Os especialistas escolhidos foram os seguintes: Biólogo, Engenheiro Químico, Engenheiro Civil e Engenheiro Ambiental. Para tanto, considerou-se o preenchimento realizado pela autora correspondendo a 50% e dos especialistas 50%, optou-se em dar maior percentual de importância do preenchimento da matriz da autora, pois a mesma está mais envolvida no planejamento do estudo. No Quadro 7 é demonstrado o modelo de matriz AHP que foi disposta para o preenchimento dos especialistas e representante do consórcio, foram considerados nove fatores.

Quadro 7: Matriz de comparação pareada do método AHP, com as nove variáveis utilizadas.

	D	G	S	H	UCT	S	NU	CT	AC
D	1								
G		1							
S			1						
H				1					
UCT					1				
SV						1			
NU							1		
CT								1	
AC									1

Legenda: Declividade (D), geologia (G), solos (S), hidrografia (H), uso e cobertura da terra (UCT), sistema viário (SV), núcleos urbanos (NU), central de triagem (CT) e área central (AC).

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

Após o preenchimento da matriz AHP por cada um dos especialistas, representante do consórcio e pela autora, realizou-se uma média do valor preenchido em cada uma das comparações pareadas realizadas (Quadro 7).

Posteriormente, foi verificada a consistência da Matriz de Prioridades dos Critérios, multiplicando-se o valor presente em cada célula pelo valor do peso da mesma, obtendo assim a Matriz de Consistência. Em seguida, foram somados os valores de cada linha e dividindo-os pelo peso de cada base referente a cada linha. Após, foi realizada a média desses resultados, para então encontrar o autovalor máximo da matriz ($\lambda_{\text{máx}}$) (SILVA, 2007).

Com isso, foi calculado o IC (Índice de Consistência), apresentado pela Equação 1. Conforme Silva (2007), para que a matriz tenha consistência, o valor encontrado deve ser menor que 0,1, caso o valor fica maior, deve-se realizar novamente os julgamentos, até que a consistência aumente.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Em que: IC é o Índice de Consistência; $\lambda_{\text{máx}}$ é o autovalor máximo da matriz; n é o número de linhas e colunas.

Segundo Silva (2007), o uso da Razão de Consistência se dá através da Equação 2. Para este cálculo, deve-se considerar o IC e o Índice Randômico (IR), que varia com o tamanho n da amostra. Saaty (1991) sugere uma tabela com os

índices randômicos (IR) de matrizes de ordem 1 a 15 calculados em laboratório, conforme exibido na Figura 17.

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico (IR) para } n} \quad (2)$$

Em que: IC é o Índice de Consistência; IR é o Índice Randômico; n é o número de linhas e colunas.

Figura 17: Índice Randômico Médio do AHP.

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 (1991).

4.3.1.3 Agregação dos fatores e restrições

Com os percentuais de importância já definidos para cada uma das nove bases, foi realizado uma álgebra de mapas, por meio da ferramenta *raster calculator* do ArcGIS 10.3, aplicando a Equação 3. A equação final é o somatório dos produtos entre os pesos e valores padronizados de cada uma das nove variáveis. O resultado é um mapa da aptidão relativa (0 – 1) para a implantação do aterro sanitário. Os valores próximos a 1 representam a maior aptidão, os valores próximos a 0 apresentam a menor aptidão e o valor 0 indica ausência absoluta de aptidão, ou seja, são locais que apresentam restrições para a implantação do empreendimento.

$$AAS = \sum p_i z_i \quad (3)$$

Em que: AAS é a aptidão de uma área para a implantação de um aterro sanitário, p_i é o peso da variável i para a implantação do aterro sanitário, z_i é o valor da variável i na área analisada, sendo ao todo nove variáveis: declividade, geologia, solos, hidrografia, uso e cobertura da terra, sistema viário, núcleos urbanos, central de triagem e área central.

Ainda, ressalta-se que após utilizar a ferramenta de álgebra de mapas aplicou-se uma máscara de restrição, fazendo ficar igual a 0 todas as áreas que apresentam algum tipo de restrição.

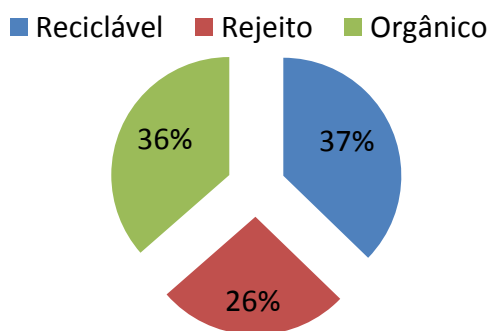
4.3.2 Dimensionamento do aterro sanitário consorciado

Inicialmente algumas considerações são necessárias para realizar o dimensionamento do aterro sanitário consorciado, sendo elas:

- Os rejeitos depositados no aterro serão provenientes da área urbana e rural do CIPAE G8;
- Estima-se que 100% da população será beneficiada com a coleta convencional e seletiva;
- Será realizado o estudo partindo com o pressuposto de que a operação da central de triagem esteja funcionando, com a segregação dos materiais recicláveis, bem como a compostagem dos resíduos orgânicos, somente sendo encaminhado o rejeito para o aterro sanitário consorciado;
- O aterro sanitário somente irá receber rejeitos, Classe II, não será permitido o recebimento de resíduos industriais, de serviços de saúde, mineração, construção civil, limpeza urbana e resíduos sujeitos a logística reversa.

A geração de resíduos sólidos no CIPAE G8 na área urbana é de 0,540 Kg/hab./dia e na área rural é de 0,300 Kg/hab./dia (PIGIRS, 2013). A origem dos rejeitos que serão depositados no aterro sanitário provém basicamente de domicílios, estabelecimentos comerciais (característica e volume compatíveis com os resíduos de origem domiciliar) e de áreas públicas (tais como de lixeiras localizadas em praças). Na Figura 18 é demonstrada a composição gravimétrica dos RSU no CIPAE G8.

Figura 18: Composição Gravimétrica dos RSU no CIPAE G8



Fonte: PIGIRS (2013).

Foi definido que dos 100% de resíduos sólidos urbanos gerados 37% são recicláveis e 36% pode ser enviado para compostagem e 26% são rejeitos, os quais serão depositados no aterro, conforme dados do PIGIRS (2013).

4.3.2.1 Projeção populacional

Primeiramente para realização do dimensionamento do aterro sanitário consorciado foi calculada a projeção populacional do CIPAE G8, através de um método que considera a população registrada nos Censos anteriores do IBGE, bem como as componentes relacionadas à dinâmica populacional: a fecundidade, mortalidade e as migrações. A projeção populacional em escala municipal, constitui-se em um procedimento de alta complexidade, no qual idealmente não se deve considerar somente a tendência de crescimento populacional observada no passado, mas também as tendências das variáveis que compreendem a dinâmica populacional, para que não ocorra a superestimação da população (OLIVEIRA, 2014).

- **Estimativa da população total**

Para estimar a população residente no CIPAE G8, foram utilizados os dados referentes à contagem da população relativos aos Censo Demográficos de 2000 e 2010 de todos os municípios. Para tanto, estes dados foram interpolados por uma função linear, esta realizada no Microsoft Office 2013 Excel, devido a necessidade de obter um dado intermediário, para complementar os demais anos que não possuíam Censo, realizou-se esta interpolação através de uma função linear para a população urbana e rural.

- **Estimativa do número de nascimentos, óbitos e migrações**

Para estimar o número de nascimentos e óbitos no CIPAE G8, utilizou-se a proporção da população municipal residente no consórcio e nos dados municipais de registro civil (nascimentos e óbitos) no período entre 2004 e 2010. Este período escolhido em função da disponibilidade de informações no banco de dados SIDRA

do IBGE, por meio da consulta nas tabelas de Nascidos Vivos (2004-2010) e de Óbitos (2004-2010). Após, realizou-se a divisão do número de nascimentos pela proporção dada pela população total de cada município, resultando na taxa de nascimentos, o mesmo foi realizado para determinar a taxa de óbitos.

Em seguida, para obter a taxa total de nascimentos e óbitos do CIPAE G8, realizou-se uma média da taxa de natalidade e mortalidade encontradas nos oito municípios integrantes do consórcio. Posteriormente, efetuou-se a multiplicação desta taxa pelo número total de habitantes, encontrando assim o número de óbitos e nascimentos para cada ano. Após, realizou-se uma multiplicação pelo percentual da população urbana e rural, obtendo-se o número de óbitos e nascimentos em cada área.

Já para calcular o saldo migratório no consórcio, realizou-se a diferença populacional entre os tempos t e $t-1$ menos o número de nascimentos no tempo t , mais o número de óbitos no tempo t , conforme demonstrado na Equação 4.

$$SM_c(t) = \Delta PopT_c - N_c(t) + O_c(t) \quad (4)$$

Em que: $SM_c(t)$ é o saldo migratório no consórcio no tempo t ; $\Delta PopT_c$ é a diferença populacional no consórcio entre os tempos t e $t-1$; $c(t)$ é o número de nascimentos no consórcio no tempo t ; $O_c(t)$ é o número de óbitos no consórcio no tempo t .

• **Tendência da taxa de natalidade, mortalidade e migrações**

O cenário modelado das taxas de natalidade e de mortalidade serão composto pelo componente tendencial, com limite inferior de 0,8% para a taxa de natalidade (patamar de países desenvolvidos com baixos índices de fecundidade). Para o componente tendencial de taxa de mortalidade estabeleceu-se um limite superior a 11,5% (patamar de países europeus com altas taxas de mortalidade) (OLIVEIRA, 2014).

Quanto à taxa migratória, foi observada, nas décadas anteriores, uma tendência de redução nas emigrações, embora o valor ainda supere o de imigrações, o que indica um saldo migratório negativo em todos os anos do período entre 2004 e 2010, assim, o modelo utilizado foi o tendencial. Porém, como as projeções do IBGE não indicam que o saldo migratório venha a ser positivo na maior parte do RS, nas próximas décadas, foi estabelecido um limiar superior de 0% para

o componente tendencial da taxa migratória, ou seja, ocorrendo na melhor das hipóteses um equilíbrio entre emigrações e imigrações.

O componente tendencial, para os três casos (natalidade, mortalidade e migrações), foi modelado da seguinte forma: para cada uma das taxas ajustou-se uma curva em função do tempo, observados os limites pré-estabelecidos anteriormente. Para a taxa de natalidade, a função exponencial apresentou o melhor ajuste para a modelagem do componente tendencial. Quanto a mortalidade e migrações, a função linear obteve melhor resultado.

4.3.2.2 Determinação da massa e do volume dos resíduos sólidos

Após obter a projeção populacional da área urbana e rural, foi calculada a massa de resíduos gerados para o período estimado, através da multiplicação da projeção populacional pela média *per capita* de resíduos gerados, conforme estabelecida no PIGIRS (2013) do CIPAE G8. Também foi calculada uma taxa de aumento na geração *per capita* de resíduos sólidos de 3% a cada cinco anos. Em seguida, foi multiplicada a massa diária de resíduos por 365 dias, obtendo-se a massa anual de resíduos. Por fim, foi somada a massa anual dos resíduos gerados em 20 anos.

Porém, salienta-se que apenas o rejeito será disposto no aterro sanitário, dessa forma o valor total de resíduos calculado para os 20 anos, foi multiplicado por 0,26, pois conforme PIGIRS (2013) o rejeito representa 26% da geração total de resíduos. Para a realização do dimensionamento do aterro sanitário é necessário obter-se o quanto essa massa encontrada representa em volume. Após consultas bibliográficas, considerou-se uma densidade média de 0,5 t/m³ de rejeito (SILVA e FERREIRA, 2005; MONTEIRO et al., 2006; CHERNICHARO et al., 2008;). Quanto ao volume de terra para a cobertura do rejeito foi considerado uma taxa de 20% de cobertura (MONTEIRO et al. 2001; CHERNICHARO et al., 2008).

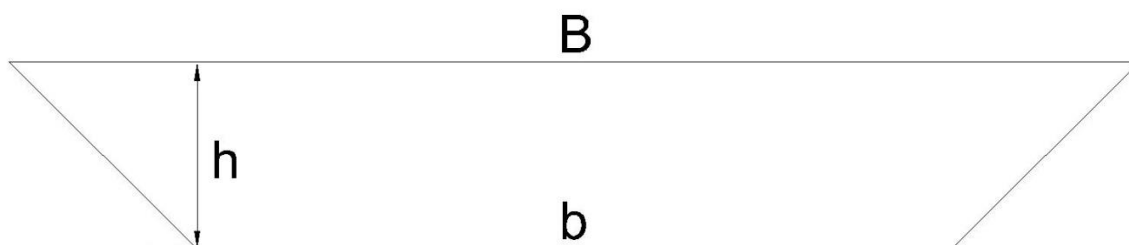
4.3.2.3 Dimensionamento da célula

O dimensionamento da célula teve como base a projeção de geração de resíduos do CIPAE G8 para um horizonte de 20 anos. Salientando-se que o tempo de vida útil depende da quantidade de resíduos gerados. No entanto, se a projeção da população oscilar para mais ou para menos, o tempo de vida útil da célula também irá aumentar ou diminuir. Cabe ressaltar que a célula do aterro sanitário receberá uma cobertura móvel com telhado em estrutura metálica de aço-galvanizado, para impedir que água pluvial entre em contato com os rejeitos, evitando assim uma geração maior de percolado. Porém, salienta-se que a estrutura não cobrirá a área total da célula do aterro sanitário, dessa forma sendo deslocada à medida que o rejeito será disposto.

Inicialmente para a realização do dimensionamento da célula é necessário determinar a quantidade de rejeitos que serão dispostos na parte de baixo da célula e a quantidade que irá para o capote. Dessa forma para o presente estudo foi adotado que 70% irá para a parte de baixo do aterro sanitário e 30% irá para parte superior do aterro, ou seja, o capote.

Para calcular a parte de baixo do aterro sanitário determinou-se qual seria a largura, altura e o talude do aterro, com isso foi possível calcular a área total do perfil (Figura 19), através da Equação 5. Após dividiu-se o volume disposto na parte de baixo pela área total encontrada, com isso obteve-se o comprimento do aterro sanitário.

Figura 19: Perfil da parte inferior do aterro sanitário



Fonte: Autora (2016).

$$AT = \frac{(B + b) \cdot h}{2} \quad (5)$$

Em que: **AT** é a área total; **B** é a base maior; **b** é a base menor e a **h** é a altura.

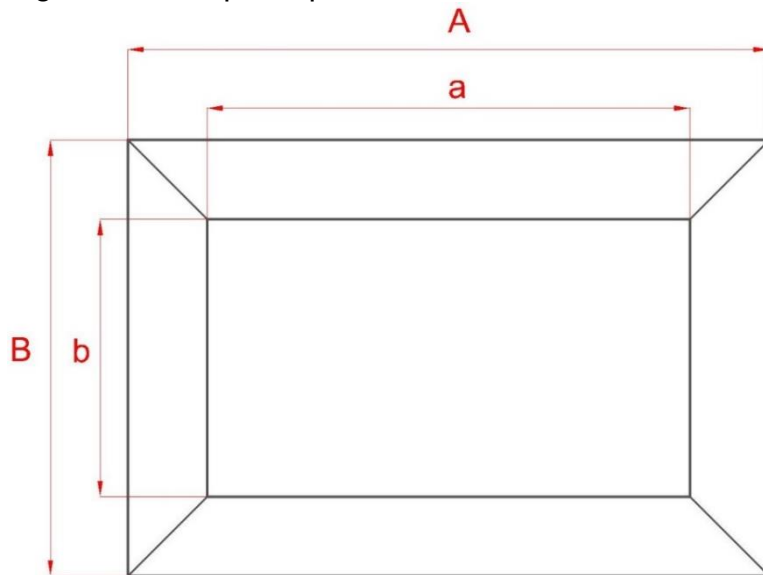
Posteriormente, aplicou-se os valores de largura, comprimento e altura na Equação 6, para encontrar o volume total da célula. Ressalta-se que os valores de largura, comprimento e altura podem ser ajustados até a obtenção do volume necessário para a disposição dos rejeitos.

$$Volume_{célula} (m^3) = \frac{h}{6} * [(2 * A + a) * B + (2 * a + A) * b] \quad (6)$$

Em que: ***h*** é a altura; ***A*** é o comprimento da base maior; ***a*** é o comprimento da base menor; ***B*** é a largura da base maior e ***b*** é a largura da base menor.

Na Figura 20 é demonstrado o croqui da planta da célula, indicando as variáveis da equação mencionada acima.

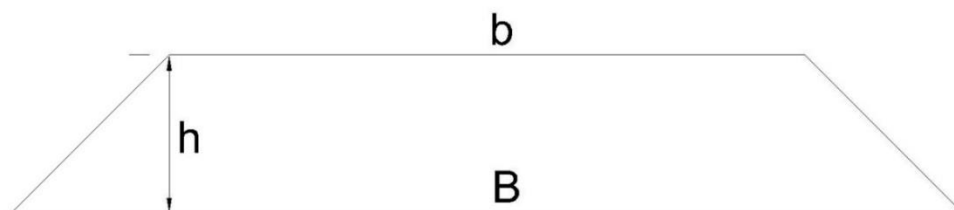
Figura 20: Croqui da planta da célula



Fonte: Autora (2016).

Para o dimensionamento do volume do capote (Figura 21) foi considerado um volume de 30% do rejeito, utilizando os mesmos métodos para o cálculo da parte inferior do aterro sanitário (Equação (7)), após foi realizada a Equação (8), assim encontrando a altura real do capote.

Figura 21: Perfil da parte superior do aterro sanitário



Fonte: Autora (2016).

$$AT = \frac{(B + b) \cdot h}{2} \quad (7)$$

Em que: **AT** é a área total; **B** é a base maior; **b** é a base menor e a **h** é a altura.

$$Volume_{célula} (m^3) = \frac{h}{6} * [(2 * A + a) * B + (2 * a + A) * b] \quad (8)$$

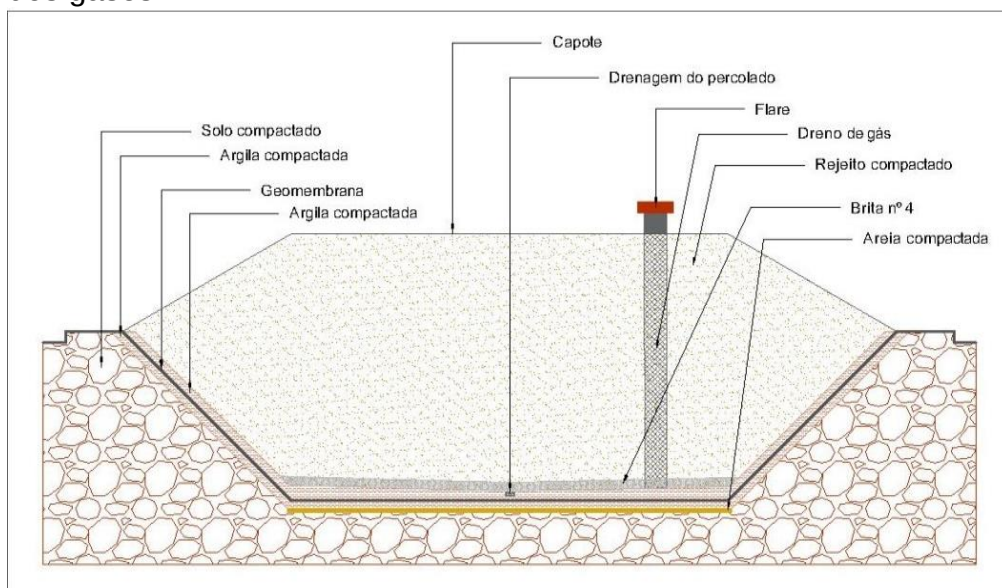
Em que: **h** é a altura em metros; **A** é o comprimento da base maior; **a** é o comprimento da base menor; **B** é a largura da base maior e **b** é a largura da base menor.

4.3.2.4 Impermeabilização da célula

A impermeabilização da base da célula (Figura 22) do aterro será composta pelas seguintes camadas:

- **Camada 1:** solo compactado (argila);
- **Camada 2:** areia com espessura de 15 (quinze) centímetros - dreno testemunho;
- **Camada 3:** argila compactada de espessura de no mínimo 40 (quarenta) centímetros;
- **Camada 4:** geomembrana de PEAD de 2 (dois) mm de espessura;
- **Camada 5:** argila compactada de espessura de no mínimo de 40 (quarenta) cm;
- **Camada 6:** colchão drenante composto por brita número 4, de espessura de no mínimo 40 (quarenta) cm.

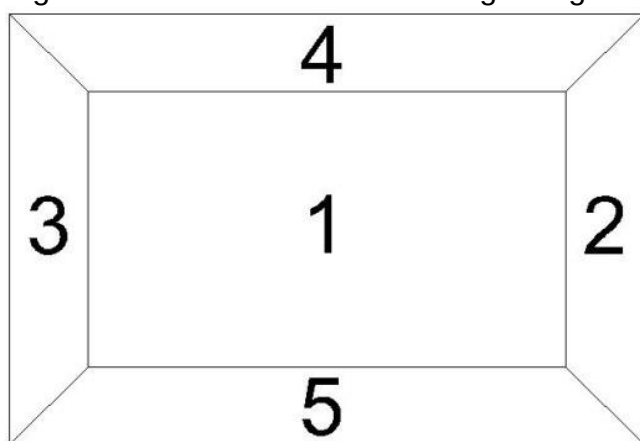
Figura 22: Impermeabilização da célula, juntamente com a drenagem do percolado e dos gases



Fonte: Autora (2016).

Para calcular a quantidade necessária de geomembrana para impermeabilização da célula do aterro sanitário, foi adotado um método que divide a célula em figuras geométricas, conforme apresentando na Figura 23. Dessa forma, foi calculada a área para cada figura, tanto para parte inferior do aterro como para o capote, dessa forma obtendo-se a área total de geomembrana necessária.

Figura 23: Divisão da célula em figuras geométricas



Fonte: Autora (2016).

4.3.2.5 Viabilidade financeira do aterro sanitário consorciado

A análise da viabilidade econômica foi dada através da comparação entre os custos com a terceirização da disposição final de RSU gerados atualmente pelo CIPAE G8 e os investimentos e custos fixos com a implantação e operação de um aterro sanitário consorciado próprio. Dessa forma, todos os investimentos iniciais para a implantação do aterro sanitário consorciado foram analisados, assim como, todos os custos fixos de operação do mesmo ao longo de 20 anos, vida útil estimada. Para isso, foram realizados orçamentos com empresas da área civil para obter os custos estimados, bem como, foram pesquisados valores de mercado dos equipamentos, profissionais e demais despesas fixas do aterro sanitário.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados e as discussões referentes à seleção das áreas aptas, o dimensionamento e a viabilidade financeira do aterro sanitário consorciado, o qual foi desenvolvido com uma vida útil para 20 anos.

5.1 Seleção de áreas para implantação do aterro sanitário consorciado

Para a seleção das áreas para implantação do aterro sanitário, conforme a metodologia descrita, foram organizadas nove bases georreferenciadas das características físicas e operacionais para a seleção das áreas aptas, sendo elas, a declividade, geologia, solos, hidrografia, uso e cobertura da terra, sistema viário, núcleos urbanos, central de triagem e área central do CIPAE G8. Os seguintes resultados foram gerados:

- **Distância dos recursos hídricos**

Na Tabela 10 é demonstrada a classificação da distância dos recursos hídricos. A área total do CIPAE G8 corresponde a 1.170,76 Km², destas, 600,12 Km² equivalendo a 51,26%, são restritas para a implantação do aterro sanitário, pois estabeleceu-se a distância mínima de 200 metros dos recursos hídricos. A aptidão máxima foi atribuída à classe de 900 a 1097,72 metros, pois quanto mais distantes dos recursos hídricos, menor a probabilidade de contaminação, abrangendo uma

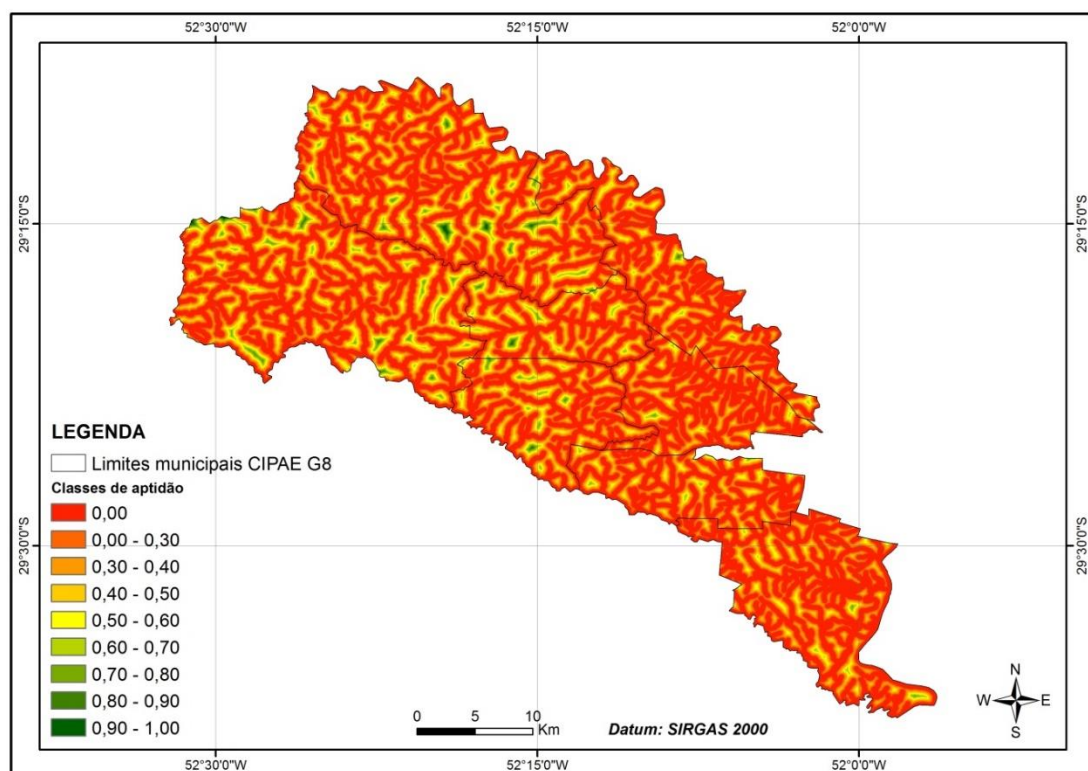
área territorial de 0,49 Km², condizendo a 0,04% da área total. As demais classes que apresentam algum grau de aptidão possuem áreas de 1,58 a 233,76 Km², representando um percentual de 0,13% a 19,97%. Na Figura 24 é demonstrado o mapa de aptidão em função da distância dos recursos hídricos.

Tabela 10: Classes de aptidão do fator de distâncias dos recursos hídricos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação das distâncias dos recursos hídricos (m)	Km ²	%
0 - 200	600,12	51,26
200 - 300	233,76	19,97
300 - 400	166,96	14,26
400 - 500	97,34	8,31
500 - 600	45,92	3,92
600 - 700	18,53	1,58
700 - 800	6,07	0,52
800 - 900	1,58	0,13
900 – 1097,72	0,49	0,04
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Figura 24: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos recursos hídricos do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

- **Distância dos sistemas viários**

A classificação em função da distância dos sistemas viários foi realizada de 0 a 700 metros. A distância mínima das estradas foi estabelecida em 200 metros, objetivando preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro, bem como visando não onerar custos operacionais de transporte, coleta e destinação final. Todavia, estabeleceu-se uma distância máxima de 700 metros, devido à logística de transporte, bem como a elevação de custos operacionais.

A área territorial total do CIPAE G8 corresponde a 1.170,76 Km², destas, 592,73 Km² equivalendo a 50,63% são restritas, pois possuem distâncias $\leq$ a 200 metros e $\geq$ 700 metros (Tabela 11). A aptidão máxima foi atribuída à classe de 200 a 300 metros, abrangendo uma área de 173,52 Km², representando um percentual de 14,82% da área total. As demais classes de aptidão variam de 62,50 a 142,82 Km², representando um percentual de 5,34% a 12,20%.

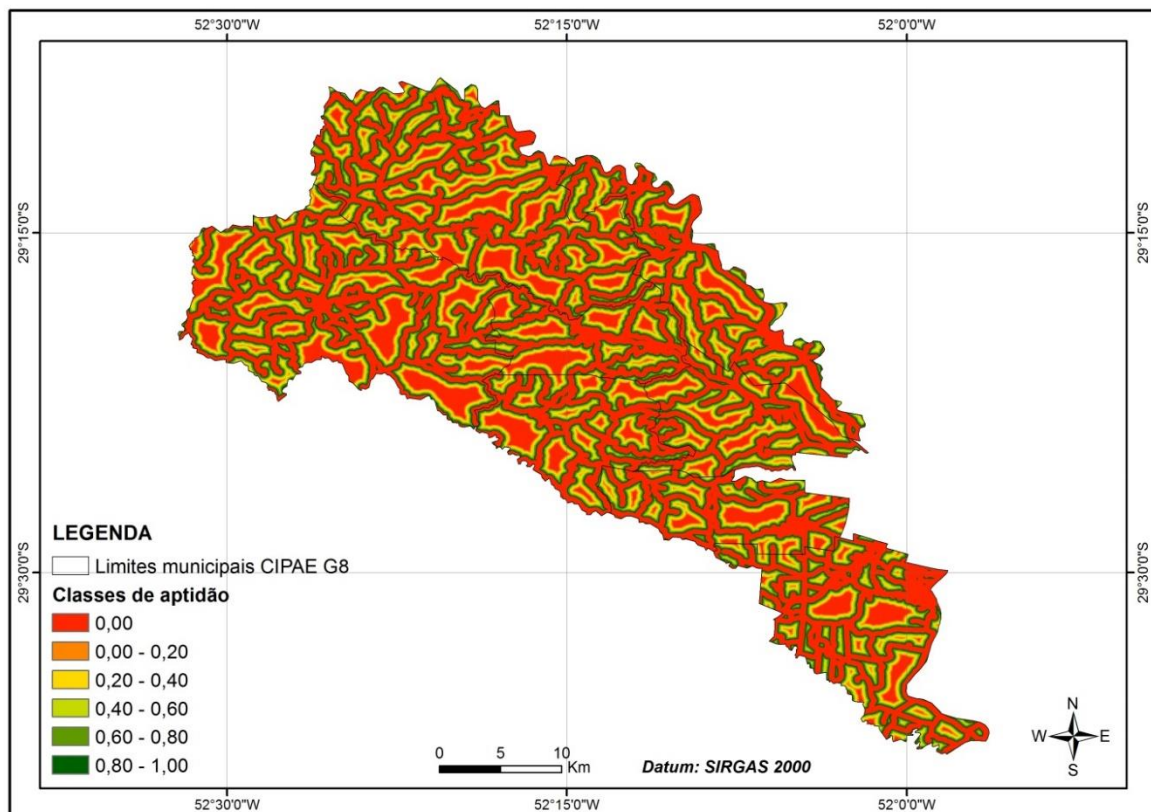
Tabela 11: Classes de aptidão do fator de distância dos sistemas viários com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da distância dos sistemas viários (m)	Km²	%
0 - 200 e >700	592,73	50,63
200 - 300	173,52	14,82
300 - 400	142,82	12,20
400 - 500	112,95	9,65
500 - 600	86,23	7,37
600 - 700	62,50	5,34
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 25 é demonstrado o mapa de aptidão em função da distância dos sistemas viários.

Figura 25: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos sistemas viários do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

• Distância dos núcleos urbanos

Conforme Chernicharo et al. (2008) recomenda-se que a localização do aterro sanitário não deve ultrapassar a uma distância máxima de um raio de 15.000 metros, em razão de logística de transporte e a sustentabilidade ambiental. Pois quanto mais longe dos núcleos urbanos, mais caro é o serviço de transporte.

Contudo, a distância máxima entre os núcleos urbanos da área de estudo é de 10.402,97 metros, aproximadamente 2/3 da recomendada. Diante disso, determinou-se que nos núcleos urbanos e na distância de até 500 metros deles atribuiu-se o peso 0, indicando ausência absoluta de aptidão, ou seja, são locais que apresentam restrições para a implantação do empreendimento. A partir dos 500 metros a aptidão recebeu valor máximo, após conforme a distância dos núcleos urbanos aumentava, a aptidão diminuía linearmente (Tabela 12).

Dessa maneira, respeitou-se a legislação da distância mínima (500 metros) dos núcleos urbanos, e optou-se em dar maior aptidão para as distâncias próximas a

este mínimo, para ficar a uma distância aceitável dos núcleos urbanos, facilitando a logística de coleta e transporte dos RSU.

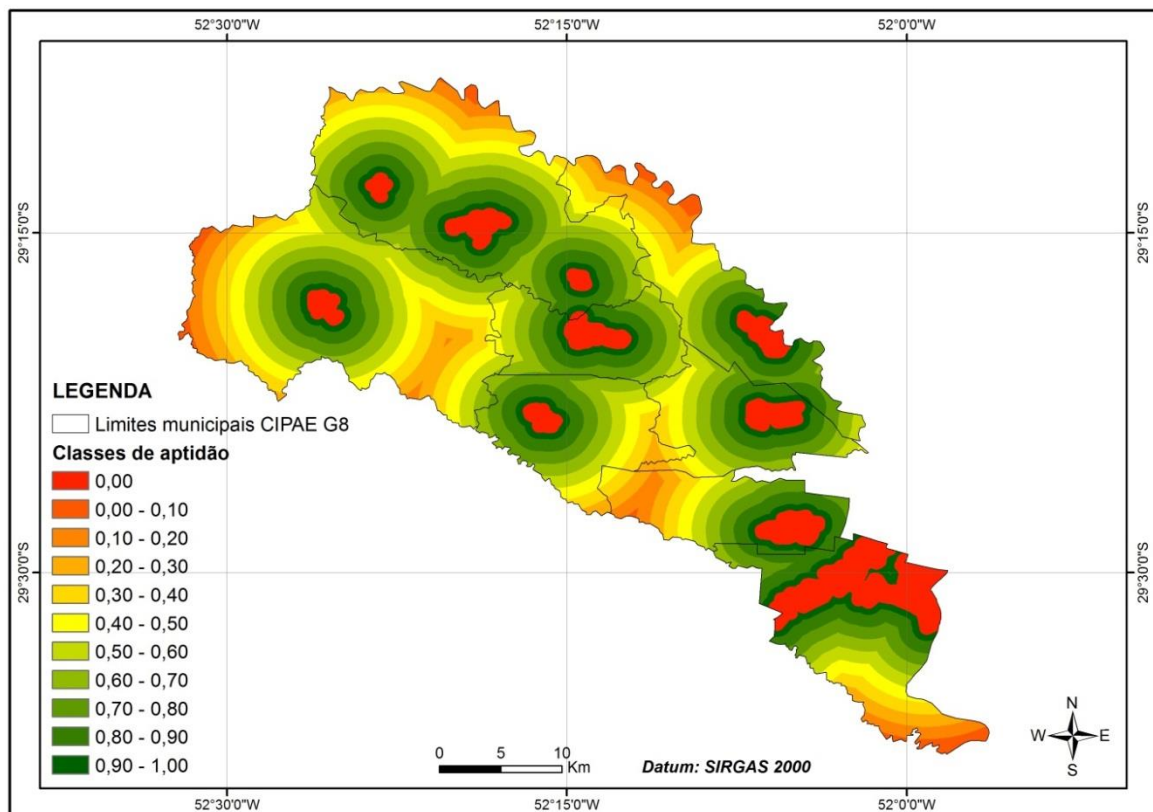
Tabela 12: Classes de aptidão do fator de distância dos núcleos urbanos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da distância dos núcleos urbanos (m)	Km²	%
0 - 500	107,12	9,15
500 - 1000	68,95	5,89
1000 - 2000	162,17	13,85
2000 - 3000	178,92	15,28
3000 - 4000	167,27	14,29
4000 - 5000	148,34	12,67
5000 - 6000	117,92	10,07
6000 - 7000	96,69	8,26
7000 - 8000	70,38	6,01
8000 - 9000	38,98	3,33
9000 - 10402,97	14,03	1,20
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

A área territorial total do CIPAE G8 corresponde a 1.170,76 Km², destas, 107,12 Km² correspondendo a um percentual de 9,15% são restritivas, pois possui distâncias $\leq$ a 500 metros. A aptidão máxima foi aplicada para a classe de 500 a 1000 metros, contando com uma área de 68,95 Km², conforme demonstrado na Tabela 12 acima. As demais classes de aptidão variam de 14,03 a 178,92 Km², representando um percentual de 1,20% a 15,28%. Na Figura 26 é demonstrado o mapa de aptidão em função da distância dos núcleos urbanos.

Figura 26: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância dos núcleos urbanos do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

• Distância da central de triagem

Levou-se em consideração a base de distância da central de triagem, devido à questão de logística de coleta, transporte e destinação final, pois na central irá ocorrer a separação dos materiais recicláveis, resíduos orgânicos e rejeito, sendo que somente o rejeito irá para o aterro sanitário. Nesse contexto, pressupõe que a central de triagem esteja em operação quando ocorrer à instalação do aterro sanitário.

A área territorial total do CIPAE G8 apresenta 1.170,76 Km², destas, 289,06 Km² correspondendo a um percentual de 24,69%, demonstram características de alta aptidão e as áreas com baixa aptidão cerca de 44,46 Km² representando um percentual de 3,80%, conforme demonstrado na Tabela 13.

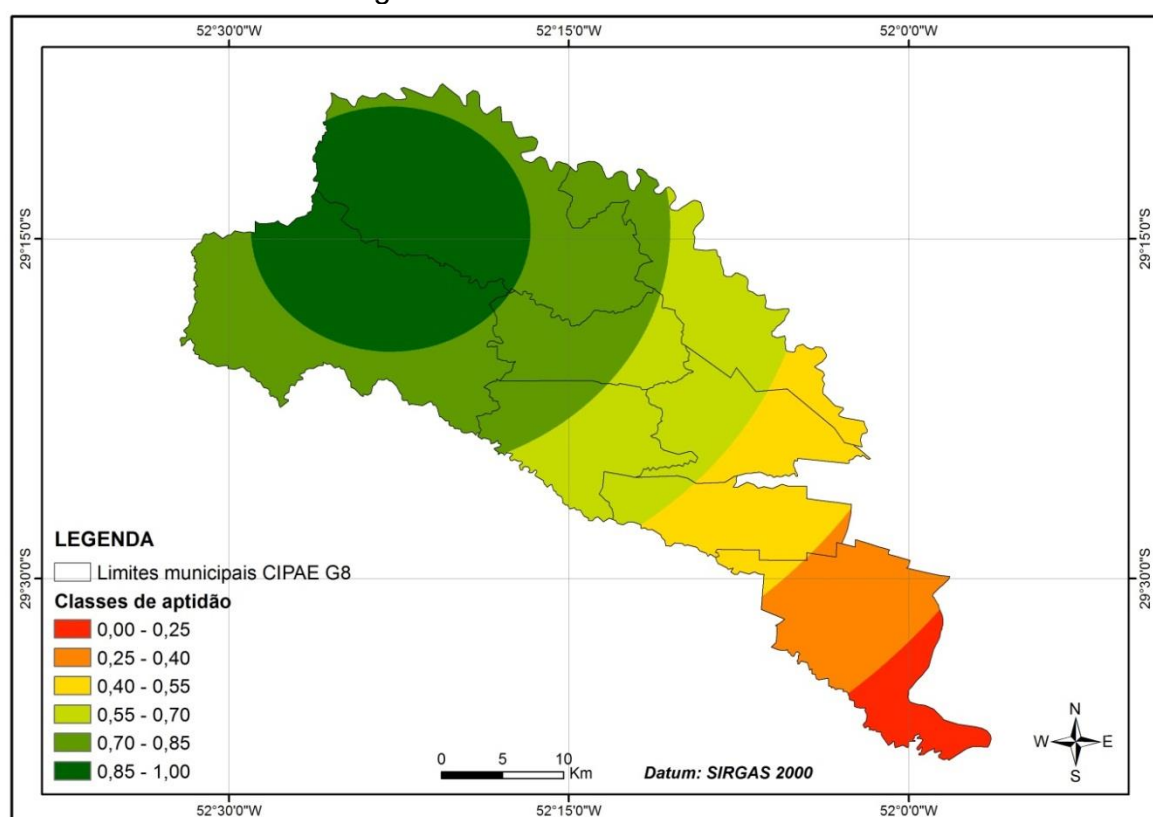
Tabela 13: Classes de aptidão do fator de distância da central de triagem com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da distância da central de triagem (metros)	Km ²	%
0 - 10000	289,06	24,69
10000 - 20000	368,59	31,48
20000 - 30000	227,95	19,47
30000 - 40000	137,36	11,73
40000 - 50000	103,34	8,83
50000 - 60000	44,46	3,80
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 27 é demonstrado o mapa de aptidão em função da distância da central de triagem, quanto mais próximo da cor verde forte, maior a aptidão, e quanto mais próximo da cor vermelha menos apto a implantação do aterro sanitário.

Figura 27: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância da central de triagem do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

- **Distância da área central do CIPAE G8**

A base de distância da área central do CIPAE G8 foi realizada com o objetivo de facilitar a logística de transporte, bem como para garantir a sustentabilidade ambiental. A área territorial total do CIPAE G8 corresponde a 1.170,76 Km², destas, 78,53 Km² com um percentual de 6,71% demonstram características de alta aptidão e as áreas com baixa aptidão correspondem a 7,12 Km² representando um percentual de 0,61%. As demais classes de aptidão variam de 18,81 a 285,12 Km², correspondendo a percentual de 1,61% a 24,35%, conforme demonstrado na Tabela 14.

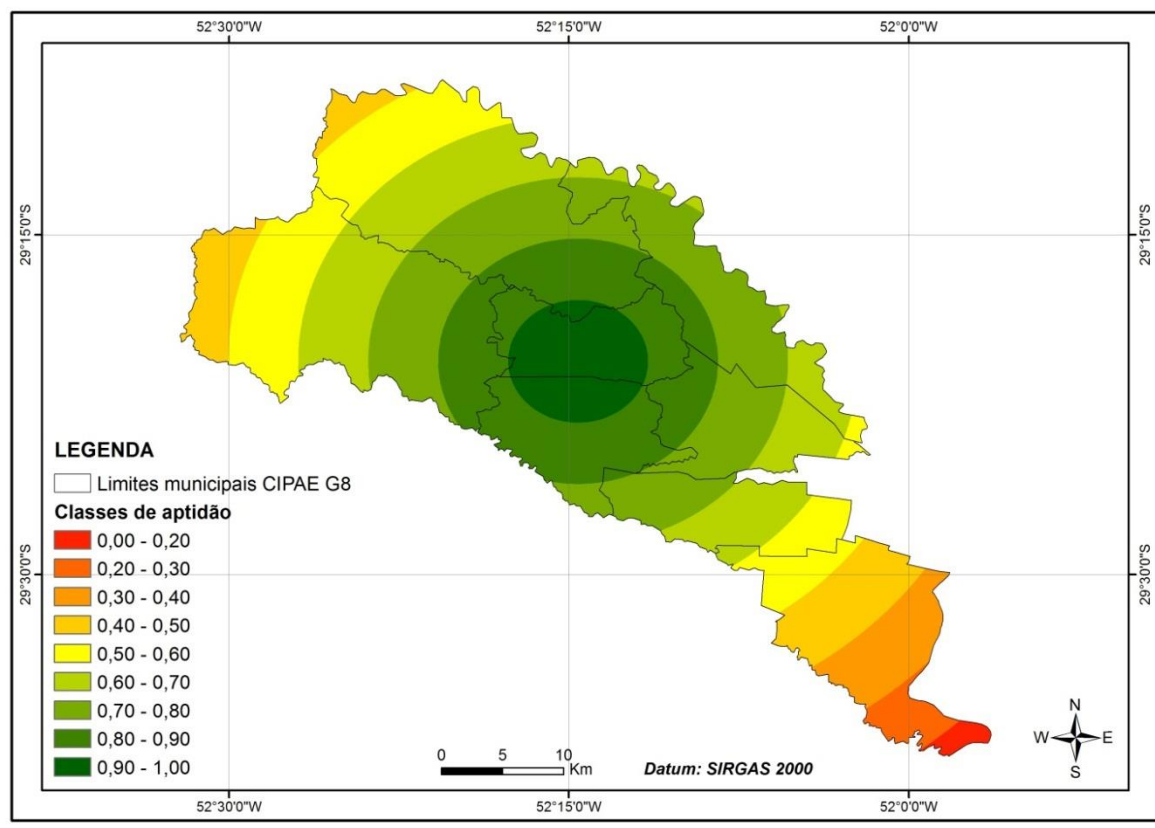
Tabela 14: Classes de aptidão do fator de distância da área central com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da distância da área central do CIPAE G8 (metros)	Km²	%
0 - 5000	78,53	6,71
5000 - 10000	229,35	19,59
10000 - 15000	285,12	24,35
15000 - 20000	215,29	18,39
20000 - 25000	185,85	15,87
25000 - 30000	101,98	8,71
30000 - 35000	48,70	4,16
35000 - 40000	18,81	1,61
40000 - 42698,70	7,12	0,61
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 28 é apresentado o mapa de aptidão em função da distância da área central do CIPAE G8, onde os tons verdes apresentam maior aptidão.

Figura 28: Mapa de aptidão para instalação do aterro sanitário em função da distância da área central do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

• Declividade

As áreas que apresentam uma declividade de 0 a 3% (plano) abrangem 46,33 Km², representando um percentual de 3,96% da área total. As áreas restritivas apresentam cerca de 692,64 Km², correspondendo a um percentual de 59,16%, devido a características do terreno, conforme demonstrado na Tabela 15.

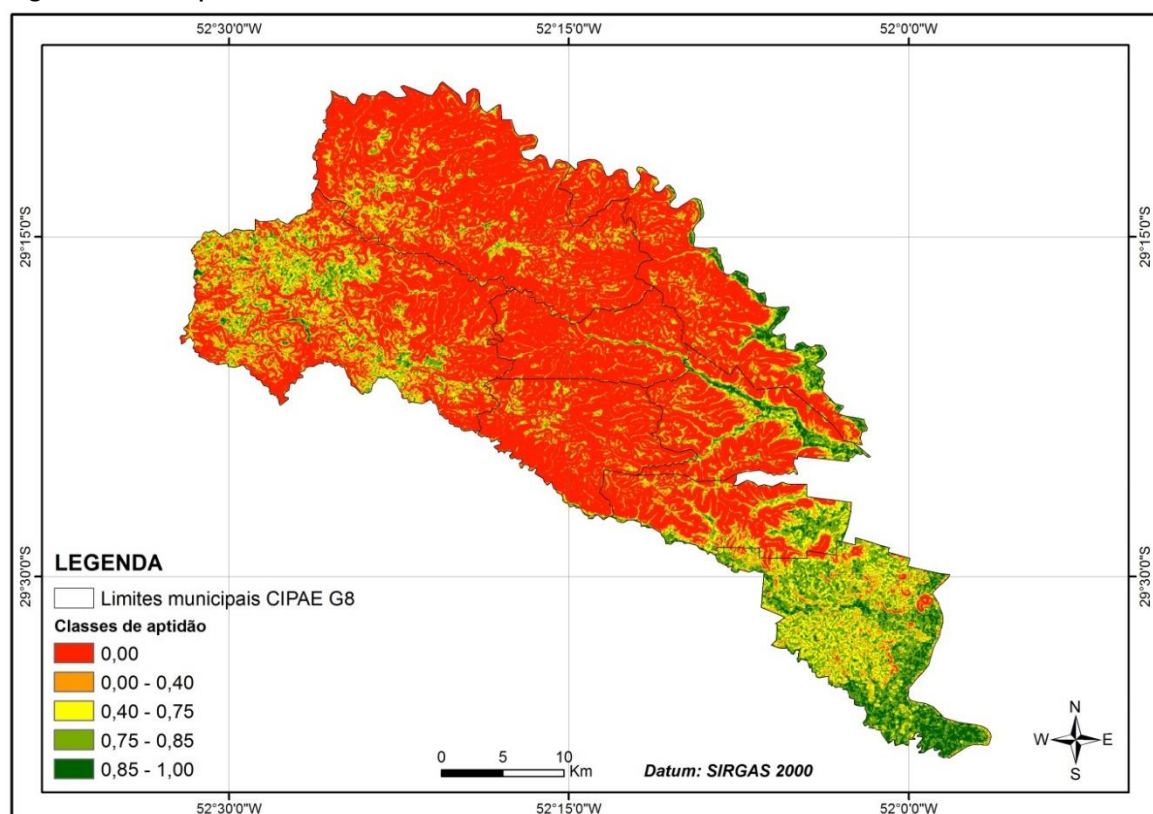
Tabela 15: Classes de aptidão do fator de declividade com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da declividade	Km ²	%
0-3% - Plano	46,33	3,96
3-8% - Suave Ondulado	140,05	11,96
8-13% - Moderadamente Ondulado	133,34	11,39
13-20% - Ondulado	158,40	13,53
20-45% - Forte Ondulado		
45-100% - Montanhoso	692,64	59,16
100% ou mais - Escarpado		
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 29 é demonstrado o mapa de aptidão da declividade, as áreas em tom vermelho são restritivas (peso 0) indica ausência absoluta de aptidão, ou seja, são locais que apresentam restrições para a implantação do empreendimento, já as áreas em tons verdes, laranja e amarelo, apresentam aptidão para a implantação do aterro sanitário.

Figura 29: Mapa de declividade do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

De acordo com o MMA (2016) as áreas favoráveis para disposição final dos rejeitos devem possuir uma declividade do terreno superior a 1% e inferior a 30%, bem como, o estudo elaborado por Born (2013), menciona que as áreas mais planas, são consideradas com maior aptidão para a implantação do aterro sanitário.

• Geologia

A base de geologia foi classificada em Fácies Caxias e Gramado, bem como em Depósitos Aluvionares, com maior representatividade a Fácies Gramado que corresponde a cerca de 65,72% da área territorial do CIPAE G8. Consideraram-se as áreas de Fácies Gramado as mais aptas e respectivamente a Fácies Caxias, as

mais adequadas para a instalação de aterros sanitários, pois ambas são provenientes de derrames de lava, apresentando baixa porosidade e consequentemente impermeabilidade (BORN, 2013). A área total do CIPAE G8 corresponde a 1.170,76 Km², sendo que as áreas que apresentam Fácies Gramado abrangem 769,37 Km², Fácies Caxias 354,46 Km² e Depósitos Aluvionares 46,92 Km², conforme demonstrado na Tabela 16.

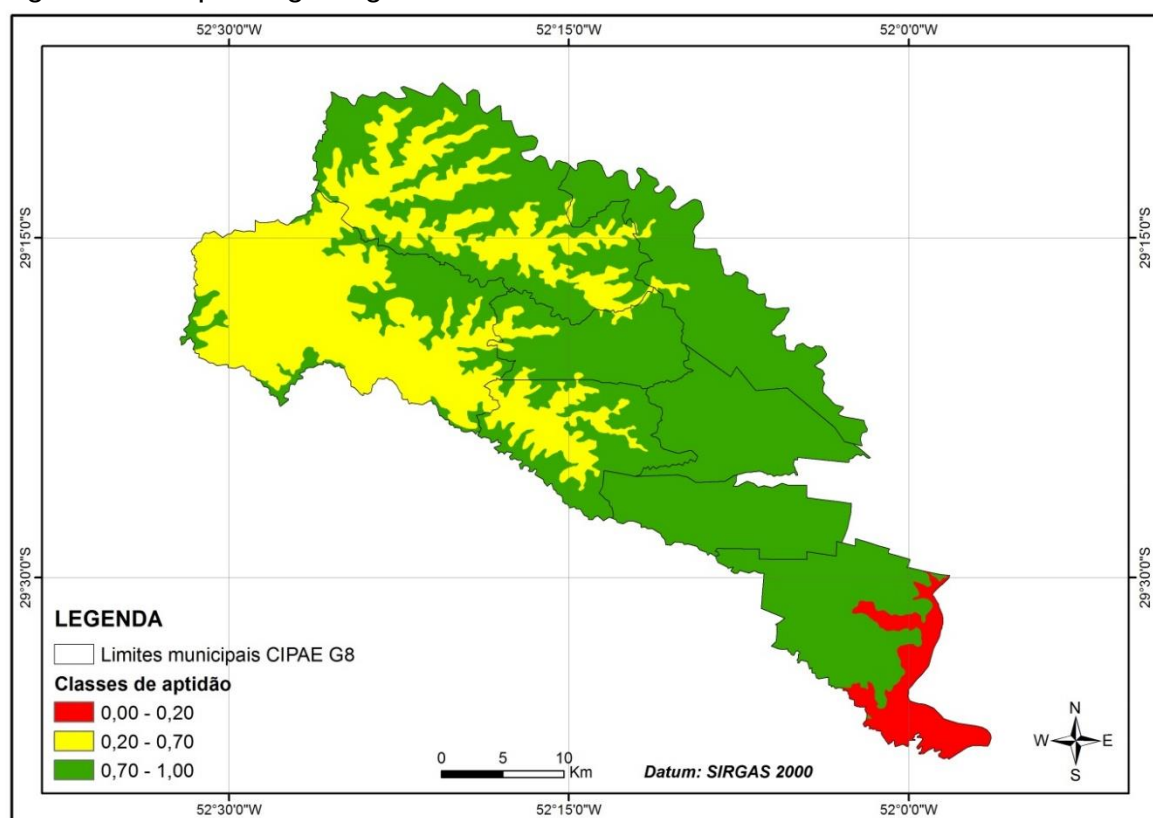
Tabela 16: Classes de aptidão do fator de geologia com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação da Geologia	Km ²	%
Fácies Gramado	769,37	65,72
Fácies Caxias	354,46	30,28
Depósitos Aluvionares	46,92	4,01
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 30 é demonstrado o mapa de aptidão da geologia, a área na cor vermelho é restritiva, já na cor verde e amarelo apresentam aptidão para a instalação do aterro sanitário.

Figura 30: Mapa da geologia do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

- **Solos**

Os solos impermeáveis são os mais adequados à implantação do aterro sanitário, considerando que o teor de argila encontrado nos solos é o fator primordial para esta análise. Nesse sentido, quanto maior o teor de argila, menor é a permeabilidade e maior a resistência à erosão (LANZA e CARVALHO, 2006).

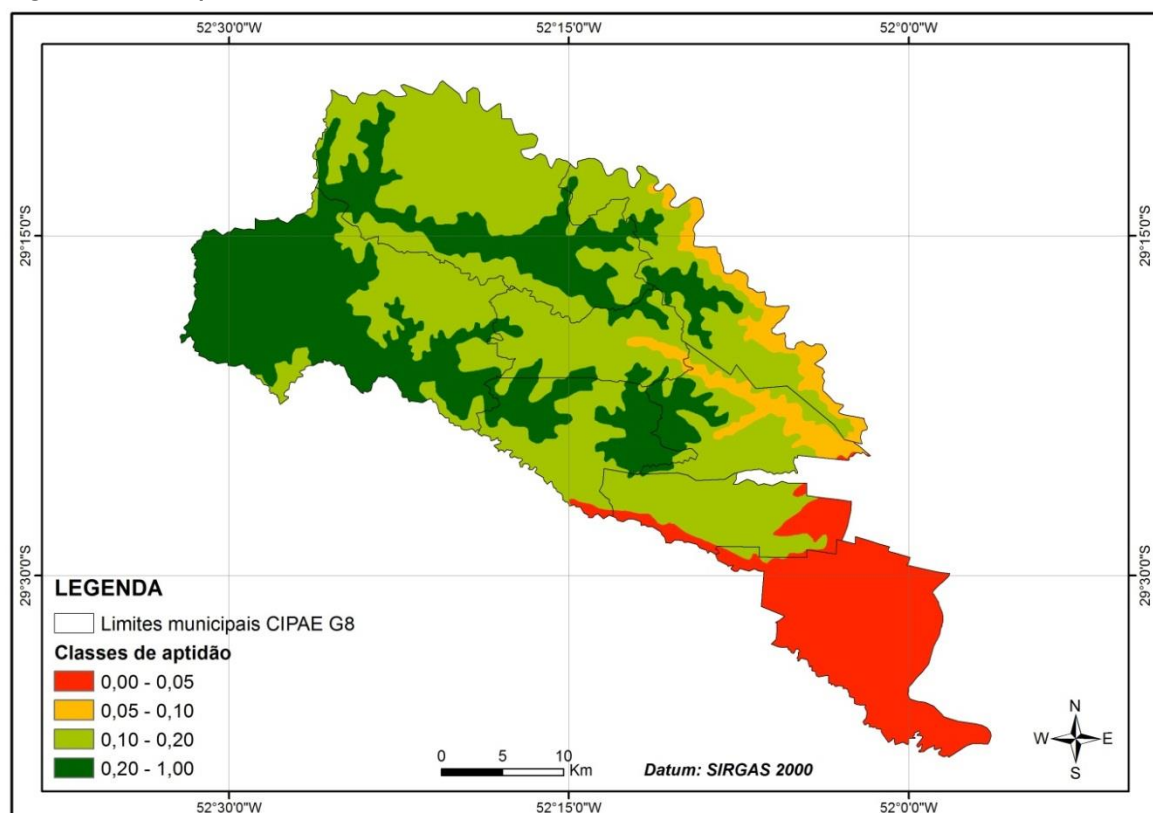
Nesse sentido, as áreas que apresentam solos argissolos no CIPAE G8 correspondem a 367,92 Km², representando um percentual de 31,43% da área total. As classes neossolo, luvisolo, nitossolo vermelho e planossolo, com menor aptidão, apresentam 58,89 a 568,32 Km², equivalendo a um percentual de 5,03% a 48,54%, conforme demonstrado na Tabela 17. Na Figura 31 é demonstrado o mapa de aptidão do solo, a área em tom vermelho é restrita e as áreas em tons verdes e tom amarelo, apresentam aptidão para a implantação do aterro sanitário.

Tabela 17: Classes de aptidão do fator de solos com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação do Solo	Km²	%
Argissolo Bruno-Acinzentado	367,92	31,43
Argissolo Vermelho		
Neossolo	568,32	48,54
Luvisolo	58,89	5,03
Nitossolo Vermelho		
Planossolo	175,63	15,00
Total	1.170,76	100,00

Fonte: Autora (2016).

Figura 31: Mapa dos solos do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

• Uso e cobertura da terra

Para a base de uso e cobertura da terra considerou-se o recobrimento do solo da área de estudo, de acordo com as suas características agrícolas e ambientais. As áreas de campos e agricultura/solo exposto que apresentam maior aptidão abrangem uma área territorial de 457,06 Km², representando 39,03%, seguida pela silvicultura que abrange 141,23 Km² correspondendo a 12,06% e a vegetação nativa que apresenta 492,48 Km², com um percentual de 42,06%. Já as áreas restritivas apresentam 80,19 Km², correspondendo a um percentual de 6,85% da área territorial (Tabela 18).

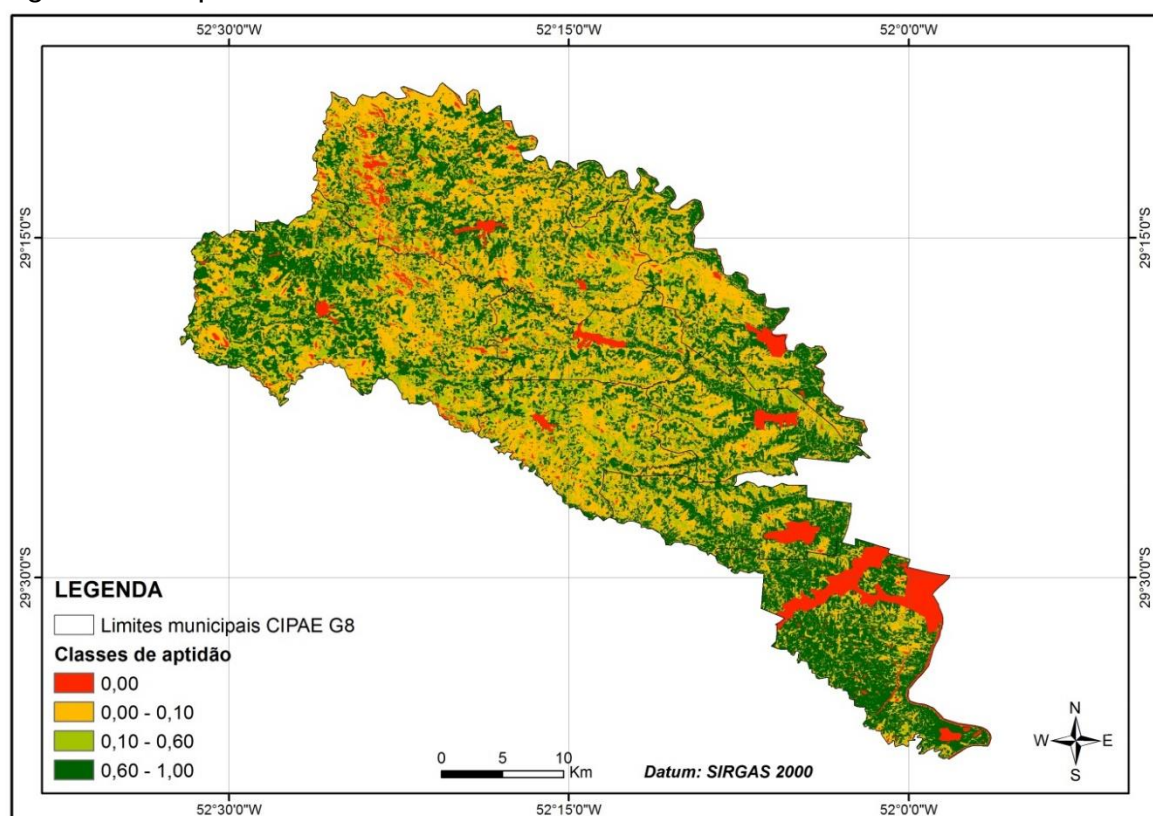
Tabela 18: Classes de aptidão do fator de uso e cobertura da terra com suas respectivas quantidades de área e porcentagem no CIPAE G8

Classificação do uso e cobertura da terra	Km ²	%
Campos	457,06	39,03
Agricultura/Solo Exposto		
Silvicultura	141,23	12,06
Vegetação Nativa	492,48	42,06
Núcleos Urbanos		
Hidrografia	80,19	6,85
Sombras		
Total	1.170,96	100,00

Fonte: Autora (2016).

Na Figura 32 é demonstrado o mapa de aptidão do uso e cobertura da terra, sendo que as áreas na cor vermelha são restritivas e as áreas nas cores verdes e amarela possuem aptidão para a implantação do aterro sanitário.

Figura 32: Mapa do uso e cobertura da terra do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

5.1.1 Comparação ponderada dos fatores

Conforme mencionado na metodologia gerou-se a matriz AHP, o preenchimento desta matriz foi realizado pela autora do presente estudo e também por especialistas da área, bem como, representante do CIPAE G8. No Quadro 8 é demonstrado o resultado da matriz preenchida pelos especialistas e representante do CIPAE G8, onde realizou-se uma média entre os valores obtidos. Já no Quadro 9 é demonstrado o resultado gerado através do preenchimento da autora do presente estudo. Por fim, gerou-se a matriz AHP final de comparação pareada dos nove fatores padronizados, conforme demonstrado no Quadro 10.

Quadro 8: Matriz AHP preenchida pelos especialistas

	D	G	S	H	UCT	S	NU	CT	AC
D	1,00	2,00	2,40	1,80	2,60	3,80	2,60	1,40	3,00
G	0,50	1,00	2,80	1,80	2,60	3,40	3,40	1,00	3,20
S	0,42	0,36	1,00	2,20	3,40	3,00	3,80	1,40	3,20
H	0,56	0,56	0,45	1,00	3,00	3,00	3,80	1,80	2,80
UCT	0,38	0,38	0,29	0,33	1,00	1,80	2,60	1,80	2,00
SV	0,26	0,29	0,33	0,33	0,56	1,00	2,40	1,80	3,20
NU	0,38	0,29	0,26	0,26	0,38	0,42	1,00	2,20	1,80
CT	0,71	1,00	0,71	0,56	0,56	0,56	0,45	1,00	1,80
AC	0,33	0,31	0,31	0,36	0,50	0,31	0,56	0,56	1,00

Legenda: Declividade (D), geologia (G), solos (S), hidrografia (H), uso e cobertura da terra (UCT), sistema viário (SV), núcleos urbanos (NU), central de triagem (CT) e área central (AC). Fonte: Adaptado de especialistas e representante do CIPAE G8 (2016).

Quadro 9: Matriz AHP preenchida pela autora do presente estudo

	D	G	S	H	UCT	S	NU	CT	AC
D	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00
G	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00
S	0,50	0,50	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00
H	0,33	0,50	0,33	1,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
UCT	0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	2,00	3,00	2,00	2,00
SV	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	2,00	2,00	2,00
NU	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,50	1,00	1,00	1,00
CT	0,25	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00
AC	0,25	0,33	0,33	0,33	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00

Legenda: Declividade (D), geologia (G), solos (S), hidrografia (H), uso e cobertura da terra (UCT), sistema viário (SV), núcleos urbanos (NU), central de triagem (CT) e área central (AC). Fonte: Autora (2016).

Quadro 10: Matriz AHP final

	D	G	S	H	UCT	S	NU	CT	AC
D	1,00	2,00	2,20	2,40	2,80	3,40	2,80	2,70	3,50
G	0,50	1,00	2,40	1,90	2,80	3,20	3,20	1,50	3,10
S	0,45	0,42	1,00	2,60	3,20	3,00	3,40	1,70	3,10
H	0,42	0,53	0,38	1,00	3,00	3,00	3,40	2,40	2,90
UCT	0,36	0,36	0,31	0,33	1,00	1,90	2,80	1,90	2,00
SV	0,29	0,31	0,33	0,33	0,53	1,00	2,20	1,90	2,60
NU	0,36	0,31	0,29	0,29	0,36	0,45	1,00	1,60	1,40
CT	0,37	0,67	0,59	0,42	0,53	0,53	0,63	1,00	1,40
AC	0,29	0,32	0,32	0,34	0,50	0,38	0,71	0,71	1,00

Legenda: Declividade (D), geologia (G), solos (S), hidrografia (H), uso e cobertura da terra (UCT), sistema viário (SV), núcleos urbanos (NU), central de triagem (CT) e área central (AC). Fonte: Autora (2016).

Com a matriz de comparação pareada concluída, encontrou-se o percentual de importância de cada fator resultante da comparação pareada (Tabela 19), sendo que o percentual representa a contribuição do fator para a definição das áreas mais aptas para a implantação do aterro sanitário, bem como, efetuou-se a avaliação de consistência da mesma. A razão de consistência indica a confiabilidade do julgamento adotado, para que a matriz tenha consistência, o valor encontrado deve ser menor que 0,1, assim, obteve-se 0,06, isso indica que o processo de comparação pareada foi adequado.

Tabela 19: Percentual de importância de cada base resultante da matriz AHP

Bases	Percentual de importância
Declividade	22%
Geologia	18%
Solos	16%
Hidrografia	13%
Uso e cobertura da terra	8%
Sistema viário	7%
Central de triagem	6%
Núcleos urbanos	5%
Distância da área central do CIPAE G8	4%
TOTAL	100%

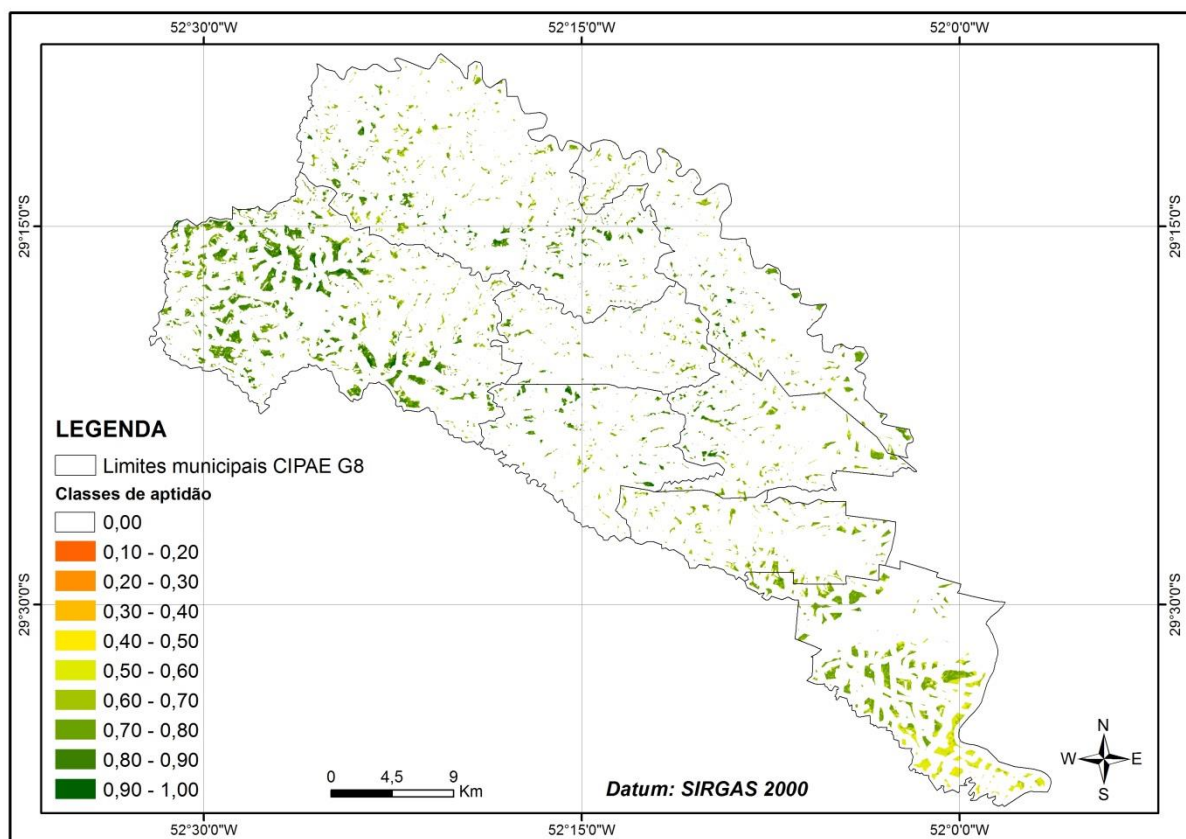
Razão da consistência da matriz de comparação pareada => 0,06 (aceitável) conforme Saaty (2005).
Fonte: Autora (2016).

O percentual que se destacou para o objetivo principal do estudo foi a declividade que apresentou 22% de importância, seguida por geologia com 18%, solos com 16%, hidrografia com 13% e uso e cobertura da terra com 8%. Os fatores

que receberam menor peso foram sistema viário que apresentou 7%, central de triagem com 6%, núcleos urbanos 5% e distância da área central com 4%.

Com o percentual de importância definido para cada base, realizou-se a álgebra de mapas através do *software* ArcGIS 10.3, com a utilização da ferramenta *raster calculator*. Este procedimento consiste na multiplicação do percentual de importância encontrada na matriz AHP com sua respectiva base, realizando este mesmo processo para todas as bases e sempre efetuando a soma entre elas, resultando assim, em um mapa de aptidão final (0 a 1) para a implantação do aterro sanitário consorciado, conforme demonstrado na Figura 33.

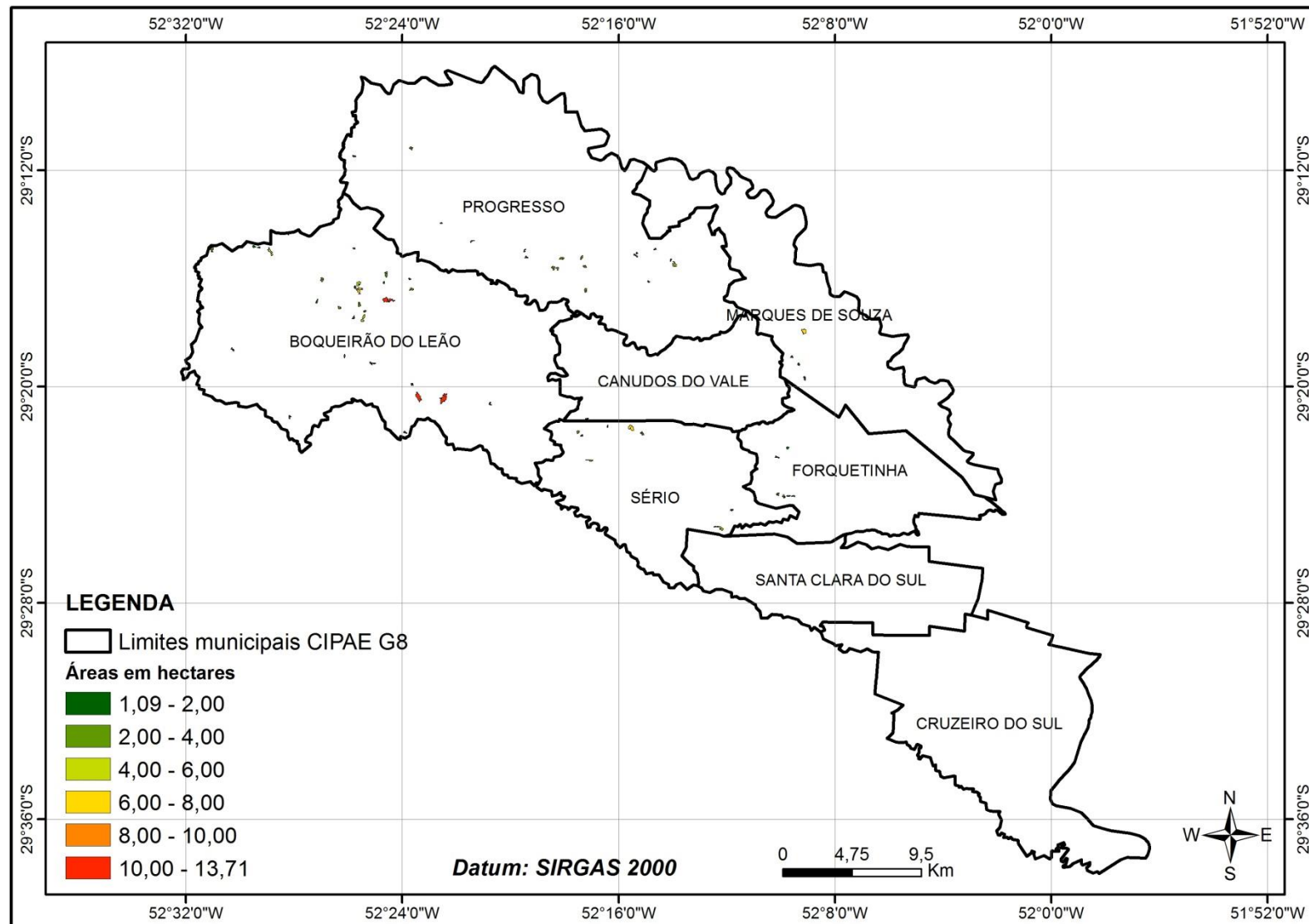
Figura 33: Mapa de aptidão final para instalação de aterro sanitário na área territorial do CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

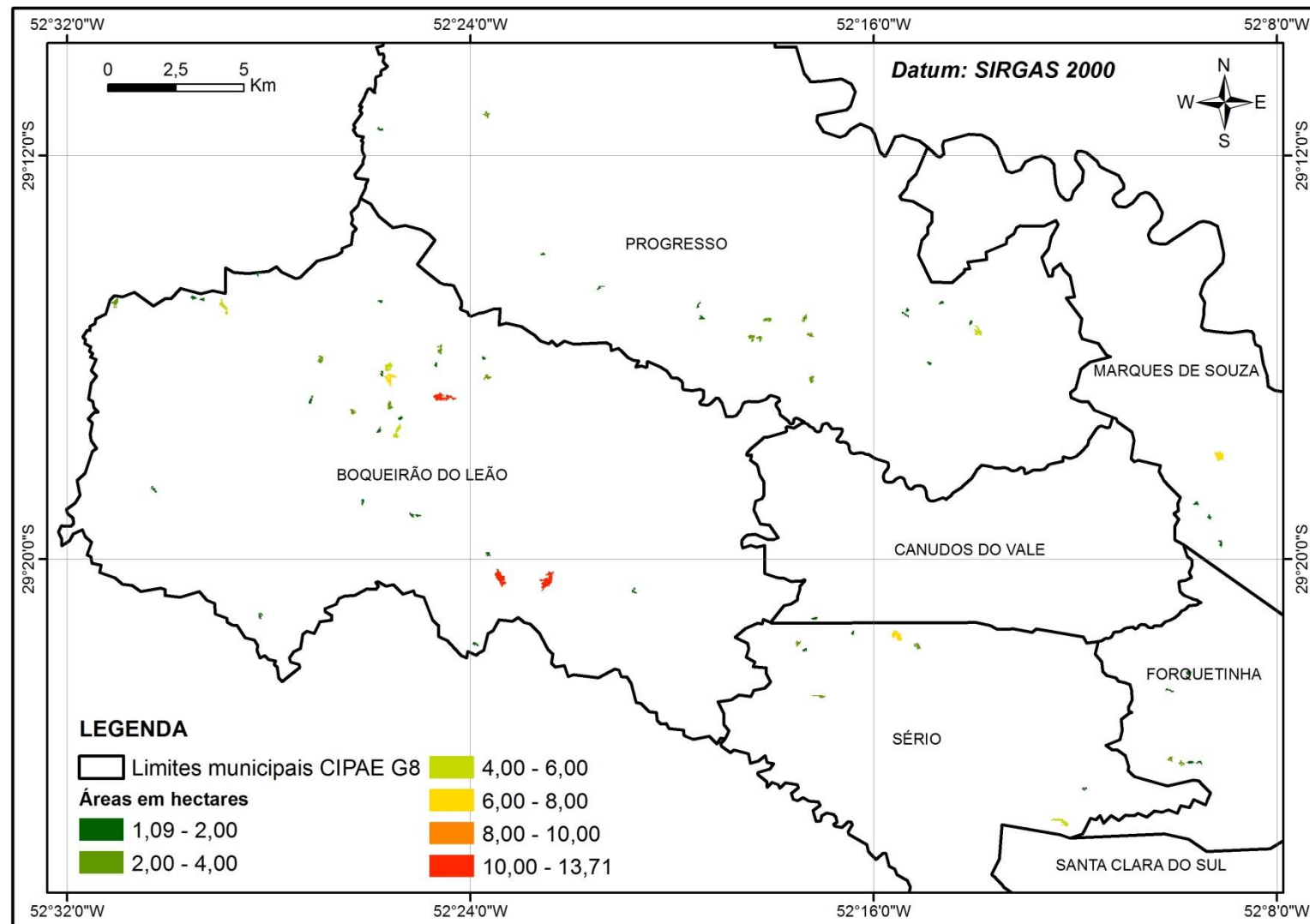
Após, selecionaram-se áreas $\geq$ a 1 hectare e com aptidão $\geq$ 0,80, isso deve-se pois optou-se em áreas com maior grau de aptidão, assim, reduzindo o número de áreas para a visita *in loco*. Nas Figuras 33 e 34 seguem demonstradas as áreas geradas, totalizando 68 áreas com a aptidão $\geq$ 0,80 e $\geq$ a 1 hectare, não apresentaram-se áreas acima de 13,71 hectares.

Figura 34: Mapa final das áreas com aptidão $\geq 0,80$ e ≥ 1 hectare para instalação do aterro sanitário no CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

Figura 35: Mapa final com a aproximação das áreas com aptidão $\geq 0,80$ e ≥ 1 hectare para instalação do aterro sanitário no CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

Posteriormente, através do *Google Earth* realizou-se a análise aleatória das áreas com aptidão $\geq 0,80$. Dessa forma, optou-se em realizar a visita *in loco* em duas áreas que através da análise visual apresentaram maiores conformidades em relação aos critérios determinados. As áreas encontram-se nos municípios de Boqueirão do Leão (área 01) e Progresso (área 02), conforme demonstrando na Figura 36.

Figura 36: Áreas visitadas nos municípios de Boqueirão do Leão e Progresso



Fonte: Autora (2016).

As visitas foram realizadas no dia 06 de novembro do corrente ano, utilizando como materiais o *Global System Position* (GPS) de navegação Garmin e câmera digital. A análise de campo permitiu realizar uma caracterização mais detalhada das áreas geradas.

A área 01 visitada está localizada no município de Boqueirão do Leão, distante 15 Km da central de triagem. Observou-se que a mesma encontra-se em local com acesso adequado (Figura 37), em terreno plano, com cultivos agrícolas (Figura 38), não foram observados recursos hídricos, tampouco vegetação dentro do perímetro da área (Figuras 39, 40 e 41).

Quanto aos núcleos populacionais localizam-se mais distantes, concentrados às margens da RS 422, encontrando-se nas distâncias mínimas estabelecidas, sendo que uma residência que situa-se próxima à área, está abandonada (Figura 42). O solo em sua superfície apresenta características de solo mais arenoso, porém não pode ser afirmada a tipologia, pois tem-se a intervenção antrópica referente ao cultivo agrícola presente no local (Figura 43), assim, somente realizando um laudo geológico para obter um resultado mais preciso.

Figura 37: Entrada da área 01 visitada



Fonte: Autora (2016).

Figura 38: Vista sudoeste da área com cultivo de fumo



Fonte: Autora (2016).

Figura 39: Vista ao nordeste da área, com cultivo de fumo



Fonte: Autora (2016).

Figura 40: Vista parcial da área



Fonte: Autora (2016).

Figura 41: Vista ao noroeste da área



Fonte: Autora (2016).

Figura 42: Residência abandonada



Fonte: Autora (2016).

Figura 43: Vista panorâmica da área



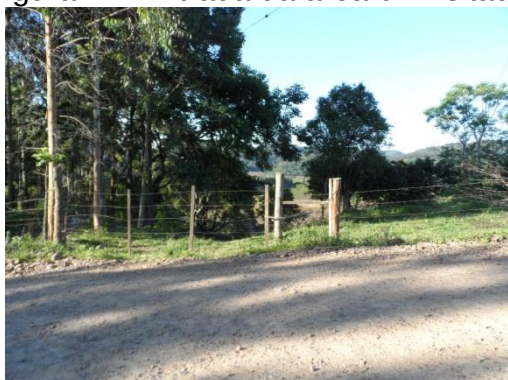
Fonte: Autora (2016).

A área visitada possui uma estrada em boas condições em sua adjacência e distante 2 km da RS 422, apresentando uma área de aproximadamente 22 hectares,

podendo assim, ampliar e/ou receber novas estruturas para a disposição final dos rejeitos, pois outros municípios da região podem integrar-se ao consórcio. Por estes motivos, considera-se a área um local adequado para a implantação do aterro sanitário consorciado.

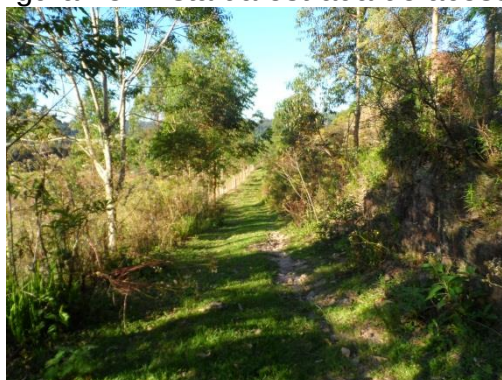
A área 02 visitada está localizada no município de Progresso, na localidade de Campo Branco. Verificou-se que a mesma encontra-se em local com acesso adequado (Figuras 44 e 45), bem como as vias de acesso são asfaltadas (Figura 46). O terreno é plano, apresentando cultivos agrícolas, atualmente, plantio de milho (Figuras 47, 48 e 49), não se observou vegetação dentro do perímetro da área, porém, visualizou-se um banhado nas proximidades. Quanto aos núcleos populacionais encontram-se mais distantes, verificaram-se algumas residências, porém as mesmas encontram-se nas distâncias mínimas estabelecidas.

Figura 44: Entrada da área 02 visitada



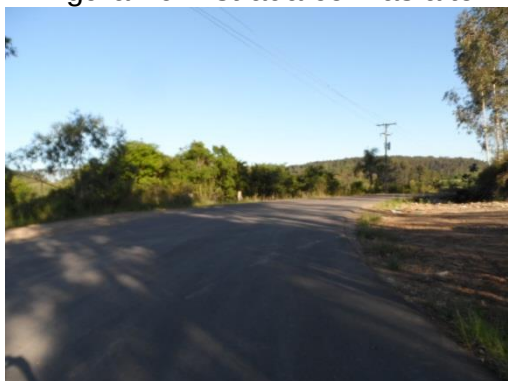
Fonte: Autora (2016).

Figura 45: Vista da estrada de acesso



Fonte: Autora (2016).

Figura 46: Estrada com asfalto



Fonte: Autora (2016).

Figura 47: Vista geral da área 02



Fonte: Autora (2016).

Figura 48: Vista ao norte da área, com cultivo de milho



Fonte: Autora (2016).

Figura 49: Vista ao noroeste da área



Fonte: Autora (2016).

Figura 50: Vista panorâmica da área



Fonte: Autora (2016).

O solo em sua superfície apresenta características de solo mais arenoso, porém não pode ser afirmada a tipologia, pois tem-se a intervenção antrópica referente ao cultivo agrícola presente no local (Figura 48), assim, somente realizando um laudo geológico para obter um resultado mais preciso.

A área 02 apresenta seis hectares, estando distante aproximadamente 1,2 Km da central de triagem. Porém, seu acesso possui alguns exemplares de vegetação nativa que precisariam ser suprimidos para melhorar o acesso.

As características de ambos os locais visitados corroboram com a metodologia elaborada neste trabalho, visando à análise da aptidão de áreas para a implantação de aterro sanitário, o que demonstra que é fundamental a realização de atividades *in loco* para a avaliação das condições reais da área, bem como, para validação dos dados.

Cabe salientar, que a partir das áreas que foram visitadas, permitiu-se confirmar que a metodologia utilizada estava coerente. Contudo, necessariamente não precisam ser estas áreas, pois somente com estudos mais aprofundados pode-se afirmar o local mais adequado.

Contudo, diante das duas áreas visitadas, considera-se que a área de Boqueirão do Leão (área 01) se revelou a mais propícia para a implantação do aterro sanitário consorciado. Tal escolha deve-se pelos seguintes motivos: possui um bom acesso, com vias largas em boas condições, distante 2 km da RS 422, conta aproximadamente com 22 hectares, podendo assim, ampliar e/ou receber novas estruturas para a disposição final dos rejeitos, bem como, outros municípios da região podem integrar-se ao consórcio intermunicipal, ficando distante de 11,6 Km da área urbana do município de Boqueirão do Leão e 15 Km da central de triagem. O município com maior distância da área do aterro sanitário é Cruzeiro do Sul distante 72,6 Km.

5.2 Dimensionamento do aterro sanitário consorciado

Para determinar o tamanho da área necessária para a implantação do aterro sanitário, realizou-se o dimensionamento do mesmo. Nesse contexto, efetuou-se inicialmente a projeção populacional, determinação da massa e do volume dos rejeitos e dimensionou-se o tamanho da célula necessária para a disposição final.

5.2.1 Projeção populacional

- **Estimativa da população total**

Conforme a metodologia apresentada neste estudo, para realizar a projeção populacional entre 2017 e 2036 (com horizonte de 20 anos), foi necessário estimar a população de cada município nos anos censitários de 2000 e 2010, totalizando a população total do CIPAE G8 nos últimos censos, conforme apresentado na Tabela 20.

De acordo com os resultados obtidos, o município mais populoso no consórcio é Cruzeiro do Sul, com 12.320 habitantes, o qual apresentou um crescimento populacional de 656 pessoas no período entre 2000 e 2010. O

município de Santa Clara do Sul também apresentou crescimento populacional no período analisado, um aumento de 891 habitantes. Já os demais municípios, Boqueirão do Leão, Canudos do Vale, Forquetinha, Marques de Souza, Progresso e Sério apresentaram uma redução populacional neste período.

De modo geral, a população do CIPAE G8 apresentou um baixo crescimento populacional na última década, passando de 42.332 para 42.488 habitantes, de 2000 a 2010, representando um aumento de apenas 0,37% em 10 anos, ocorrendo uma estabilização. Esta tendência de baixo crescimento populacional tem sido observada em todo o estado do Rio Grande do Sul, conforme resultados divulgados pelo IBGE (2010).

Tabela 20: Estimativa da população de cada município do CIPAE G8

Município	População total estimada por município	
	2000	2010
Boqueirão do Leão	7.825	7.673
Canudos do Vale	1.975	1.807
Cruzeiro do Sul	11.664	12.320
Forquetinha	2.618	2.479
Marques de Souza	4.241	4.068
Progresso	6.497	6.163
Santa Clara do Sul	4.806	5.697
Sério	2.706	2.281
População total do CIPAE G8	42.332	42.488

Fonte: IBGE (2000 e 2010).

Após, foi realizada a estimativa da população urbana de cada município do consórcio, verificou-se que houve um crescimento populacional na maioria dos municípios na área urbana, destacando novamente o município de Cruzeiro do Sul, com um aumento de 1.304 habitantes, seguido por Santa Clara do Sul, 1.131 habitantes e Progresso que apresentou um crescimento de 297 habitantes na área urbana. Apenas o município de Sério reduziu o número de habitantes na área urbana, passando de 568 para 530 habitantes, diminuindo 38 habitantes, conforme demonstrado na Tabela 21.

Nesse contexto, no ano de 2000 a população do consórcio na área urbana correspondia a 32,74% e em 2010, representava 39,61%, correspondendo a um aumento populacional de 6,87% em 10 anos, tal situação ocorre devido ao êxodo rural, os habitantes da área rural migram-se para a área urbana.

Tabela 21: Estimativa da população urbana de cada município do CIPAE G8

Município	População urbana estimada por município	
	2000	2010
Boqueirão do Leão	1.523	1.672
Canudos do Vale	381	411
Cruzeiro do Sul	6.172	7.476
Forquetinha	452	468
Marques de Souza	1.464	1.545
Progresso	1.576	1.873
Santa Clara do Sul	1.724	2.855
Sério	568	530
População total do CIPAE G8	13.860	16.830

Fonte: IBGE (2000 e 2010).

Em relação a área rural do CIPAE G8, todos os municípios apresentaram uma redução populacional (2000-2010), conforme apresentado na Tabela 22. O consórcio em 2000 apresentava uma população na área rural de 28.472 habitantes, representando cerca de 67,26% e em 2010 reduziu para 25.658 habitantes, equivalendo a 60,39%, com diminuição de 2.814 habitantes. Essa tendência de diminuição populacional ocorre devido que os habitantes estão migrando para a área urbana dos municípios e/ou estão mudando-se para outros municípios, na busca de qualidade de vida e crescimento profissional.

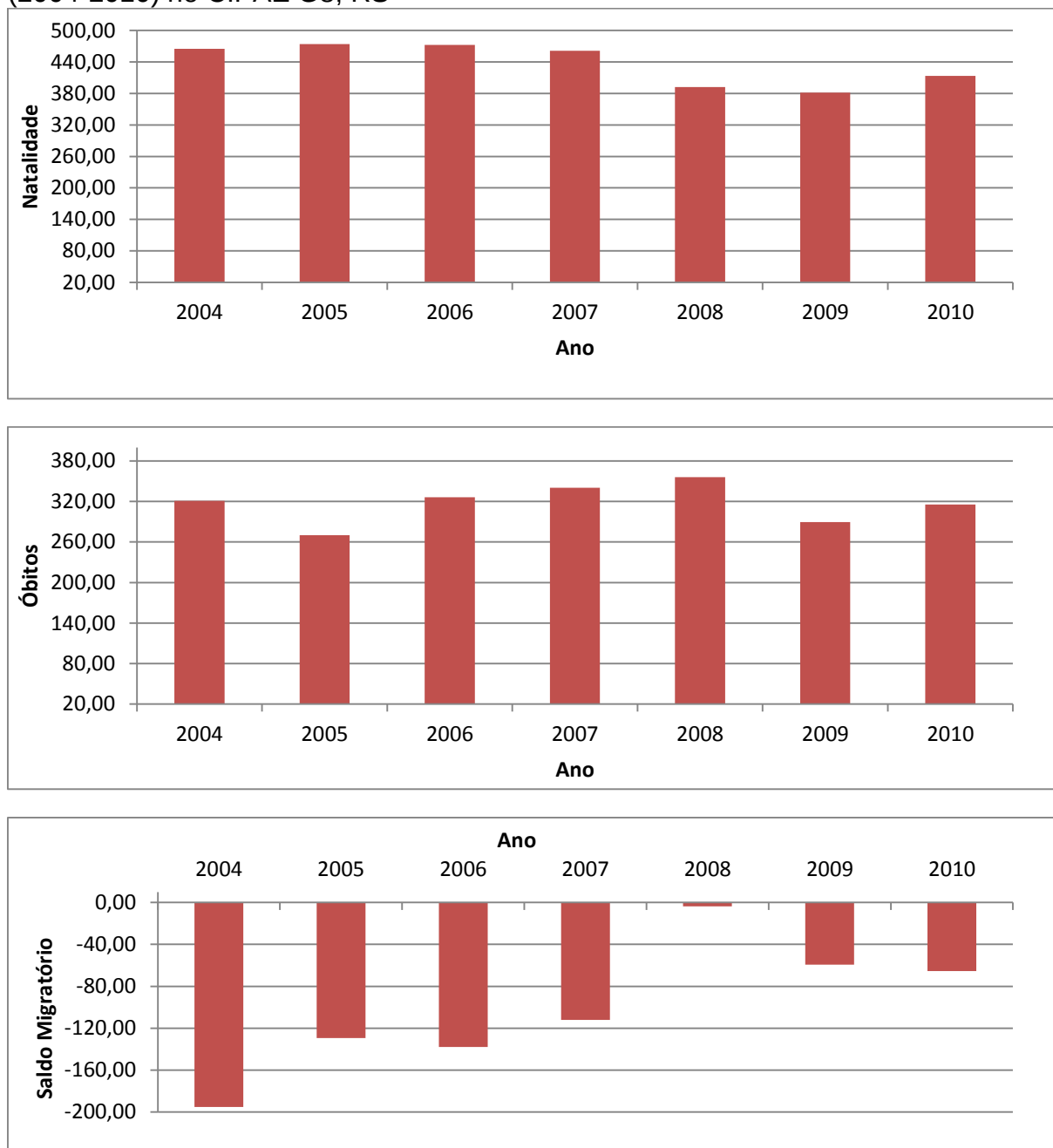
Tabela 22: Estimativa da população rural de cada município do CIPAE G8

Município	População rural estimada por município	
	2000	2010
Boqueirão do Leão	6.302	6.001
Canudos do Vale	1.594	1.396
Cruzeiro do Sul	5.492	4.844
Forquetinha	2.166	2.011
Marques de Souza	2.777	2.523
Progresso	4.921	4.290
Santa Clara do Sul	3.082	2.842
Sério	2.138	1.751
População total do CIPAE G8	28.472	25.658

Fonte: IBGE (2000 e 2010).

Posteriormente, foram estimados os três componentes do modelo de projeção populacional (nascimentos, óbitos e migrações) conforme a metodologia apresentada. Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 51, que apresenta a estimativa do saldo migratório e do número de nascimentos e óbitos, no período entre 2004 e 2010 no consórcio.

Figura 51: Estimativa do saldo migratório e do número de nascimento e óbitos (2004-2010) no CIPAE G8, RS



Fonte: Autora (2016).

Quanto às migrações, foi observado uma redução no ano de 2008. Ainda, pode-se observar na Figura 51 que o saldo migratório apresentou valores de -195 (em 2004) para -65 (em 2010).

O número de nascimentos teve uma pequena redução na última década, passando de 465 (em 2004) para 413 (em 2010), equivalente a uma diminuição de 11,18% nos nascimentos, condizendo com o observado em termos regionais, de acordo com as estimativas do IBGE (2010). Tal tendência está associada, à

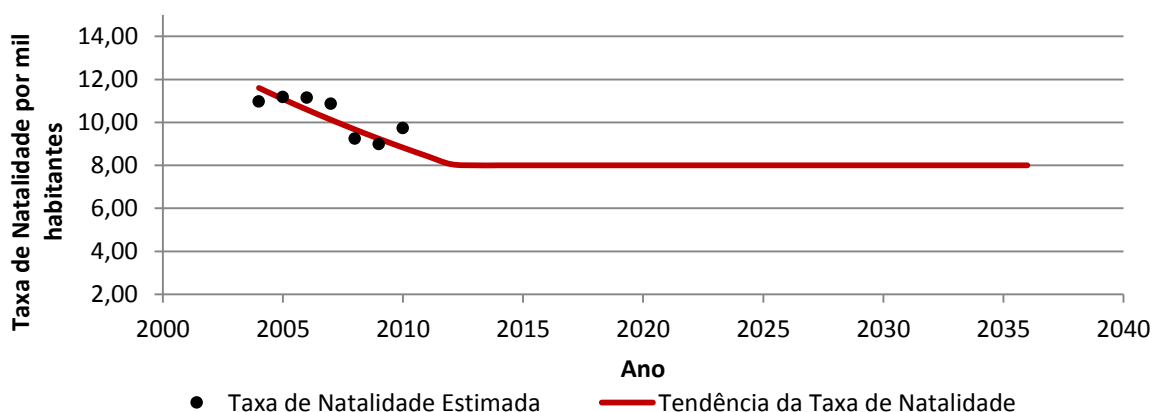
crescente inserção da mulher no mercado de trabalho e à ampla divulgação e acesso a métodos contraceptivos (OLIVEIRA, 2014).

Referente ao número de óbitos, os resultados obtidos, demonstram uma suave redução no período analisado. No ano de 2004, o número de óbitos foi de 321, já em 2010 foi de 315 óbitos, praticamente estabilizando o número de óbitos na área do consórcio. Esta tendência está relacionada, principalmente, a qualidade de vida da população, devido aos municípios possuírem características rurais, bem como, ao envelhecimento da população resultante do aumento da expectativa de vida do brasileiro (OLIVEIRA, 2014) . De acordo com o comportamento apresentado na última década (2000-2010) fica evidente a estabilização da taxa de nascimentos e óbitos para as próximas décadas, pois os valores apresentaram uma suave redução.

Nesse contexto, os modelos das taxas de natalidade, de mortalidade e de saldo migratório foram compostos pelo componente tendencial, com limite inferior de 0,8% para o componente tendencial de taxa de natalidade, já para a taxa migratória, foi estabelecido um limiar superior de 0% para o componente tendencial da taxa migratória, ou seja, projetando um equilíbrio entre emigrações e imigrações. Para o componente tendencial de taxa de mortalidade estabeleceu-se um limite superior de 11,5%, conforme apresentando na metodologia.

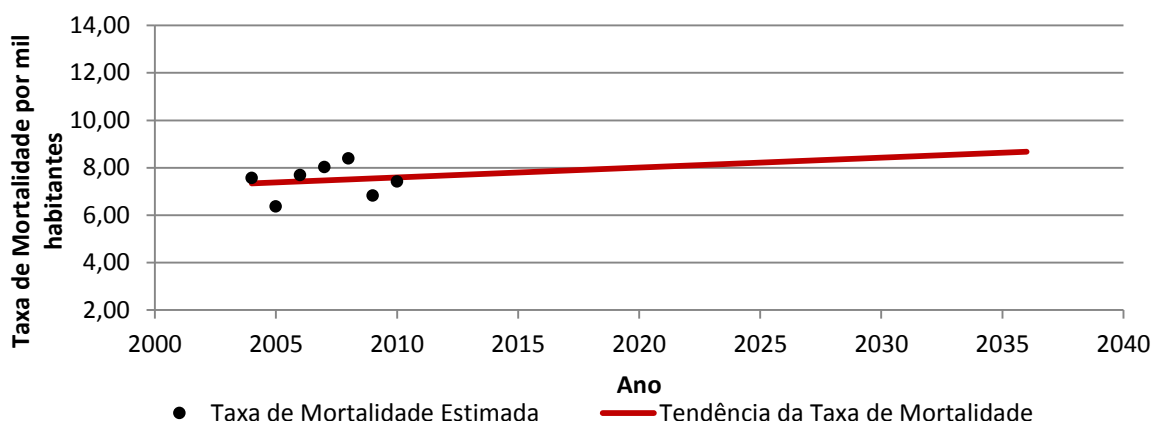
Nas Figuras 52 a 54 são ilustradas as curvas ajustadas e extrapoladas para o período entre 2017 e 2036, referentes ao componente tendencial para as taxas de natalidade, mortalidade e saldo migratório, respectivamente.

Figura 52: Tendência da taxa de natalidade (2004-2036) no CIPAE G8



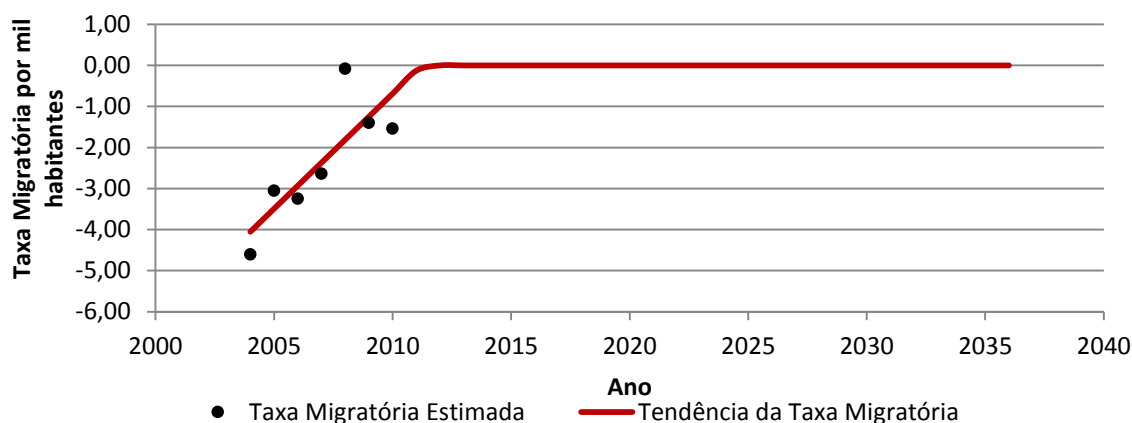
Fonte: Autora (2016).

Figura 53: Tendência da taxa de mortalidade (2004-2036) no CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

Figura 54: Tendência da taxa do saldo migratório (2004-2036) no CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

Conforme Oliveira (2014), tendo em vista o comportamento apresentado nas últimas décadas, é possível verificar que há uma tendência de redução na taxa de natalidade e de aumento na taxa de mortalidade em todo Estado do RS para as próximas décadas.

Na Figura 52 à taxa de natalidade sofre um decréscimo desde do ano 2004 até o ano 2010, após estabiliza-se em um índice de 8 nascimentos por 1.000 habitantes. Quanto a taxa de mortalidade (Figura 53) não atingiu o limite estabelecido de 11,5 óbitos por 1.000 habitantes, tendo um comportamento crescente durante o período analisado, de 2011 a 2036. A tendência observada indica uma taxa de mortalidade de 8,67 mortes a cada 1.000 habitantes em 2036. Refente à taxa migratória, a estabilização entre as imigrações e emigrações

seguindo a tendência estabelecida, já ocorreu no ano de 2012, isto é, já encontra-se estabilizada (Figura 54).

Por fim, após a análise das informações e considerando os resultados obtidos a partir das taxas de nascimentos, óbitos e migrações, gerou-se a Tabela 23 com a projeção populacional para o horizonte de 20 anos. De modo geral, observa-se a redução populacional no CIPAE G8, estima-se que no ano de 2036 o consórcio terá 42.333 habitantes, sendo que destes, 16.768 na área urbana e 25.564 na área rural.

Tabela 23: Projeção populacional para o horizonte de 20 anos

Ano	População urbana	População rural	População total
2017	16.864	25.711	42.575
2018	16.866	25.713	42.578
2019	16.866	25.713	42.580
2020	16.866	25.713	42.579
2021	16.865	25.712	42.577
2022	16.864	25.709	42.573
2023	16.862	25.706	42.568
2024	16.859	25.702	42.560
2025	16.855	25.696	42.551
2026	16.851	25.689	42.540
2027	16.845	25.682	42.527
2028	16.840	25.673	42.513
2029	16.833	25.663	42.496
2030	16.826	25.652	42.478
2031	16.818	25.640	42.458
2032	16.810	25.627	42.437
2033	16.800	25.613	42.413
2034	16.790	25.598	42.388
2035	16.780	25.581	42.361
2036	16.768	25.564	42.333

Fonte: Autora (2016).

5.2.2 Determinação da massa e do volume dos resíduos sólidos

Conforme descrito na metodologia, a determinação da massa dos resíduos sólidos foi realizada através da multiplicação da projeção populacional pela média *per capita* de resíduos gerados. Para tanto, também foi calculada uma taxa de

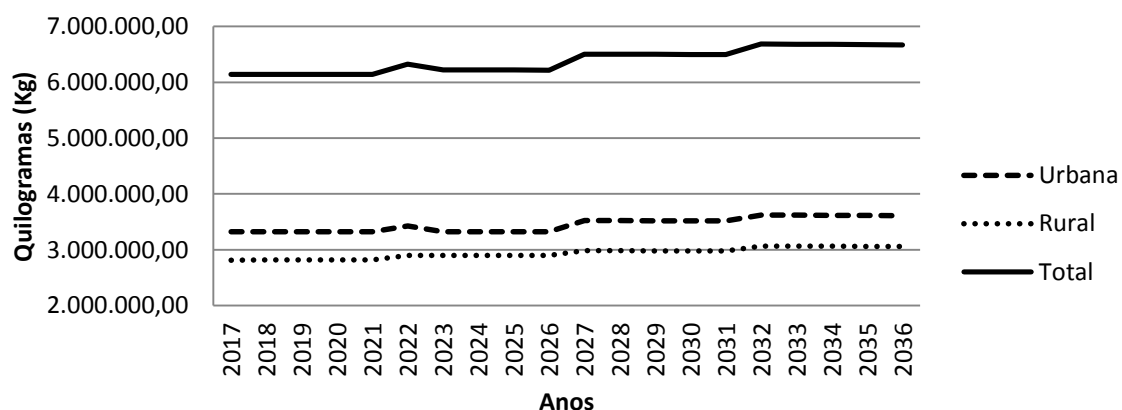
aumento na geração *per capita* de resíduos sólidos de 3% a cada cinco anos. Em seguida, foi multiplicada a massa diária de resíduos por 365 dias, obtendo-se a massa anual de resíduos. Por fim, foi somada a massa anual dos resíduos gerados em 20 anos.

É importante destacar que apenas o rejeito será disposto no aterro sanitário, dessa forma o valor total de resíduos calculado para os 20 anos, foi multiplicado por 0,26, pois conforme PIGIRS (2013) o rejeito representa 26% da geração total de resíduos no CIPAE G8. Para a realização do dimensionamento do aterro sanitário foi necessário obter-se o quanto essa massa encontrada representa em volume.

Dessa forma, após consultas bibliográficas, considerou-se uma densidade média de 0,5 t/m³ de rejeito (SILVA e FERREIRA, 2005; MONTEIRO et al., 2006; CHERNICHARO et al., 2008;). Quanto ao volume de terra para a cobertura do rejeito foi considerado uma taxa de 20% de cobertura (MONTEIRO et al. 2001; CHERNICHARO et al., 2008).

Considerando estes dados, gerou-se a Figura 55, a qual apresenta a geração total de resíduos Kg/ano na área de estudo, dividida em área rural e urbana.

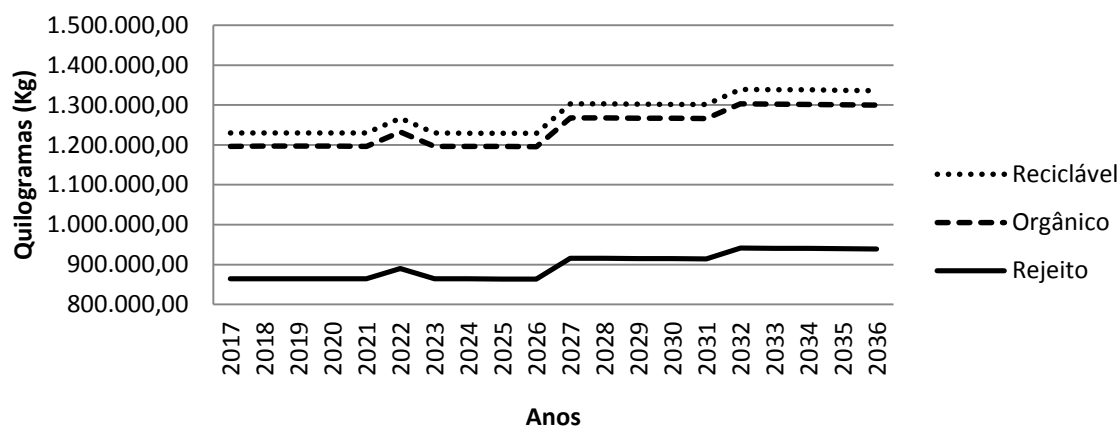
Figura 55: Geração de RSU Kg/ano



Fonte: Autora (2016).

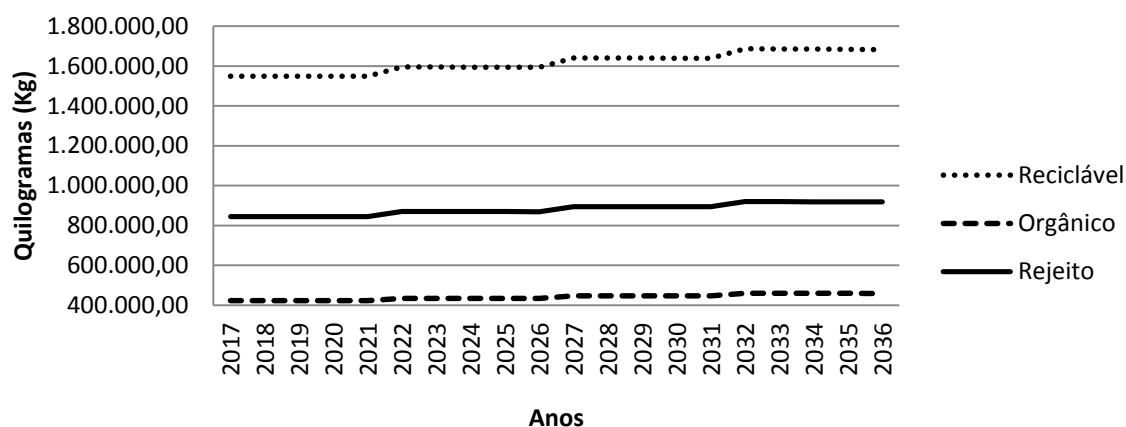
Nas Figuras 56 e 57 é apresentada a quantidade gerada por tipo de resíduos (reciclável, orgânico e rejeito) na área urbana e rural do presente estudo.

Figura 56: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito na área urbana



Fonte: Autora (2016).

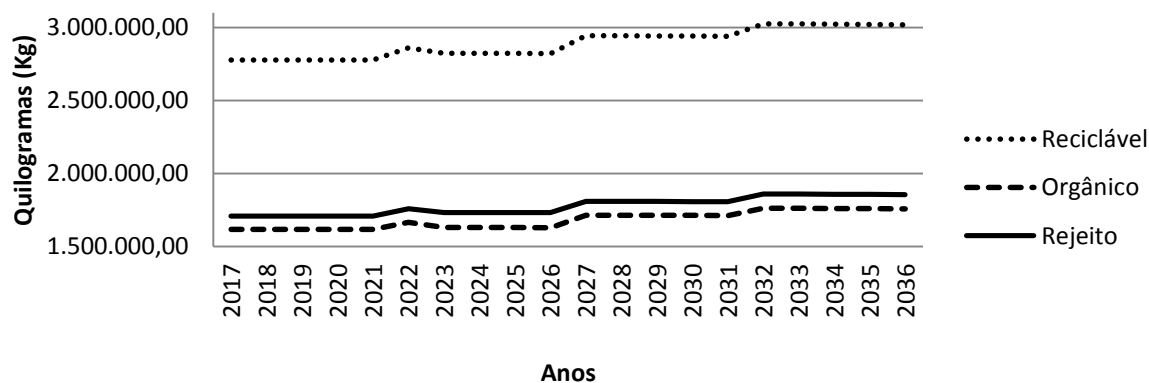
Figura 57: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito na área rural



Fonte: Autora (2016).

Por fim, elaborou-se a Figura 58, demonstrando a quantidade total de material reciclável e orgânico a ser destinados a central de triagem e compostagem e o rejeito a ser depositado na célula do aterro sanitário ao longo dos 20 anos.

Figura 58: Geração de material reciclável, orgânico e rejeito no CIPAE G8



Fonte: Autora (2016).

Estima-se que até o ano 2036 a célula receberá 35.580.432,88 Kg, com uma densidade média aplicada de 0,5 t/m³, gerou-se um volume total de rejeito de 71.160,7 m³. Aplicando-se a taxa de cobertura de solo de 20%, assim, gerou-se um volume total de rejeito de 85.393,04 m³.

5.2.3 Dimensionamento da célula

Conforme apresentado na metodologia o dimensionamento da célula teve como base a projeção de geração de resíduos do CIPAE G8 para um horizonte de 20 anos. Dessa forma para o presente estudo foi adotado que 70% dos rejeitos serão dispostos na parte de baixo do aterro sanitário e 30% serão para parte superior do aterro, ou seja, o capote. Estima-se que para o CIPAE G8 será necessária uma célula de 145 metros de comprimento por 60 metros de largura para atender a demanda de geração de rejeitos do consórcio.

Após a aplicação das equações citadas na metodologia, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 24. Observa-se que na parte de baixo da célula o volume disposto de rejeito (70%) será de 61.666,67m³, contando com uma profundidade de 8 metros e uma área de 8.700m². Com a aplicação dos 30% de rejeito que será disposto no capote, abrangerá-se um volume de 25.617,91m³, dispondo de uma altura de 4,13 metros, acima da superfície da área da célula. Diante disso, o aterro sanitário poderá receber a um volume total de 87.284,58m³.

Tabela 24: Dimensões do aterro sanitário consorciado

	Parte de baixo	Capote
Largura (m)	60	50
Comprimento (m)	145	135
Altura (m)	8	4,13
Volume aterro sanitário (m³)	61.666,67	25.617,91

Fonte: Autora (2016).

Com os resultados encontrados da dimensão da célula do aterro sanitário, realizaram-se os cálculos da geomembrana necessária para a impermeabilização da parte de baixo e do capote do aterro sanitário, obtendo-se um total de 21.214,38m² de geomembrana, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Total de geomembrana a ser utilizada na célula do aterro sanitário

Área da geomembrana parte de baixo (m²)	Área da geomembrana capote (m²)
11.095,49	10.118,89

Fonte: Autora (2016).

Neste contexto, ocorrerá a implantação de uma célula de recebimento de rejeito, com vida útil estimada de 20 anos, com as dimensões totais de 145 metros de comprimento, por 60 metros de largura, contendo cobertura de telhado metálico e serão dispostos três tanques de acúmulo de percolado (caixas de contenção) de fibra com a capacidade de 20m³ por unidade.

Conforme referências da FEPAM, a impermeabilização da base da célula do aterro será composta pelas seguintes camadas: **Camada 1:** solo compactado (argila); **Camada 2:** areia com espessura de 15 (quinze) centímetros - dreno testemunho; **Camada 3:** argila compactada de espessura de no mínimo 40 (quarenta) centímetros; **Camada 4:** geomembrana de PEAD de 2 (dois) mm de espessura; **Camada 5:** argila compactada de espessura de no mínimo de 40 (quarenta) cm e **Camada 6:** colchão drenante composto por brita número 4, de espessura de no mínimo 40 (quarenta) cm.

A célula do aterro sanitário apresentará uma cobertura móvel para a redução do percolado. Este telhado terá uma dimensão de 1/4 do tamanho da célula, visando à minimização das despesas da implantação do empreendimento.

Dessa forma, será preenchido o primeiro 1/4 da célula, o qual será lacrado com uma camada de argila compactada, geomembrana, argila compactada novamente e solo fértil misturado como solo original do local, impossibilitando o contato com as intempéries da natureza, após esta cobertura será descolada à medida que o rejeito será disposto na célula.

A célula será dividida em três projeções (1/4), com um ponto de divisão de águas, para cada projeção, onde será instalado caixas de passagens nos cantos da célula para cada projeção.

Quanto à coleta do percolado serão implantados drenos com canos de concreto vazados com 40 cm de diâmetro, na parte central da célula, com base

recoberta com 40 cm de brita número 4 disposta na camada de argila compactada com inclinação de 1% para o centro.

Nos drenos serão conectados canos que direcionarão por gravidade o percolado até os tanques de fibra de 20m³. Esta tubulação será de PVC, não vazada, com espessura de 200 mm, onde será conectada ao primeiro tanque, este será conectado a outro tanque de mesma capacidade. Este segundo tanque será conectado a um terceiro tanque testemunho com capacidade para 20 m³.

O percolado entrará no primeiro tanque quando for atingida a sua capacidade o mesmo será direcionado por canalização para o segundo tanque. No segundo tanque de acondicionamento do percolado, será instalada uma bomba que permitirá o recalque do percolado de volta para a célula, resultando em um ciclo fechado (recirculado), a fim de promover uma degradação mais rápida. Caso ocorra alguma falha mecânica na bomba, terá o terceiro tanque que receberá o excesso de percolado que os demais tanques não comportaram, ou seja, este reservatório funcionará como segurança.

Portanto, o sistema de tratamento será composto por 03 (três) unidades de tanques (caixas) de fibra com capacidade de retenção de 20m³ cada, ligados entre si e acoplados a uma bomba de retorno do percolado para a célula. Os tanques serão instalados sobre piso impermeabilizado de concreto, com as dimensões de 3,5 metros de largura por 12 metros de comprimento, circundando por uma mureta com 30 (trinta) centímetros de altura caso ocorra vazamento de percolado das caixas.

Esta instalação promoverá economia de investimentos, uma vez que em função do telhado e do sistema de drenagem será evitado que as águas pluviais penetrem no interior da célula em operação, bem como serão dispostos somente rejeitos. Depois de realizado o encerramento da célula, o efluente armazenado nos tanques será remetido para empresa terceirizada a qual realizará o tratamento e disposição final adequada.

Os gases gerados no interior da massa de resíduos deverão ser captados por rede de drenagem. Para tanto, os drenos de gás deverão ser implantados de forma que se mantenha uma malha de drenos, constituída por 10 drenos, a um raio de 15 metros de distância entre os mesmos. Os drenos serão compostos de tubos de

concreto, com 30 cm de diâmetro, vazados e protegidos com brita número 2 e uma grade de arame galvanizado em seu entorno. Na extremidade, após a colocação da cobertura, deverá ser colocado em cada dreno um queimador tipo “flare”, galvanizados de 100 mm de diâmetro, para não haver emissão de material particulado visível para a atmosfera.

Com este sistema ocorrerá à exaustão completa ou parcial dos gases formados no interior da célula evitando a formação de “bolsas” de gases, as quais podem provocar acidentes na célula como explosões, por exemplo. O biogás liberado através do sistema de drenagem será queimado, por meio de queimadores de gases instalados.

Um sistema de monitoramento por piezômetros será implantado próximo a célula, colocados estrategicamente à montante (um piezômetro) e jusante (três piezômetros), para que se consiga diagnosticar facilmente, a direção de uma pluma de contaminação no caso de um possível vazamento (NBR 13895/97).

Um plano de monitoramento permanente na área deverá ser aplicado, mediante a coleta da água nos piezômetros de monitoramento da água subterrânea, bem como, o monitoramento do biogás gerado, a fim de se ter certeza que este esteja sendo liberado para o exterior da célula de forma adequada. O sistema de drenagem das águas superficiais também deverá ser inspecionado periodicamente.

O aterro sanitário apresentará uma infraestrutura necessária para a rotina operacional do mesmo, dispondo de uma estrutura básica de suporte a atividades, sendo elas, de guarita, estrutura administrativa e sanitários. Para tanto, toda a área do aterro sanitário será cercada para impedir o acesso de animais e pessoas não autorizadas à área de operação.

Ainda, na entrada da área, haverá uma balança para a pesagem e registro da quantidade de rejeito a ser disposto no aterro sanitário. É através destes dados que o CIPAE G8 terá informações sobre a eficiência de execução da gestão de RSU, permitindo uma melhor avaliação das rotas, cumprimento de horário, operação da central de triagem e compostagem. Além do sistema de balança é necessário uma retroescavadeira que fará a distribuição e compactação no processo de disposição do rejeito.

Para a adequada operacionalização do aterro, o mesmo contará com um funcionário que realizará o recebimento dos caminhões, pesagem e o manejo do rejeito na célula e também um responsável técnico por todo o funcionamento do aterro.

No **APÊNDICE A** é demonstrado a Planta baixa do aterro sanitário consorciado.

5.3 Análise da viabilidade financeira do aterro sanitário consorciado

A viabilidade financeira da implantação do aterro sanitário consorciado é um comparativo entre a situação atual de disposição dos resíduos, ou seja, quanto é gasto atualmente para que os resíduos provenientes do CIPAE G8 sejam dispostos de maneira adequada, e os investimentos necessários para a implantação do aterro sanitário próprio, além dos custos fixos na operação do mesmo.

Conforme informações municipais, o CIPAE G8 possui um custo fixo anual de R\$ 1.601.902,92, representando R\$ 133.491,91 por mês, este valor representa as despesas com a coleta, transporte, transbordo, triagem e disposição final dos RSU, destes, aproximadamente R\$ 25.632,46 são custos de transporte e disposição final em aterro sanitário terceirizado. Atualmente, estes serviços são realizados de forma individual por município, cada um possui seu contrato de prestação de serviços com empresas terceirizadas da região. No Quadro 11 são demonstrados os custos despendidos mensalmente pelos serviços voltados aos RSU, dos municípios integrantes do CIPAE G8.

Quadro 11: Custos despendidos mensalmente com a prestação de serviços voltados aos RSU

Município	Serviços	Custos despendidos mensalmente (R\$) valores de 2016
Boqueirão do Leão	Coleta convencional, triagem, transbordo, transporte e destino final	15.086,28
Canudos do Vale	Coleta convencional, triagem, transbordo, transporte e destino final	7.455,00
Cruzeiro do Sul	Coleta convencional e seletiva, triagem, transbordo, transporte e destino final	37.496,13
Forquethinha	Coleta convencional, triagem, transporte e destino final	11.190,57

Município	Serviços	Custos despendidos mensalmente (R\$) valores de 2016
Marques de Souza	Coleta convencional, triagem, transbordo, transporte e destino final	16.428,00
Progresso	Coleta convencional e seletiva, triagem, transbordo, transporte e destino final	23.112,44
Santa Clara do Sul	Coleta convencional, triagem, transbordo, transporte e destino final	16.640,26
Sério	Transporte, transbordo, triagem e destino final	6.083,23
CIPAE G8		133.491,91

Fonte: Contratos municipais de prestação de serviços (2016).

Portanto, tem-se como projeção de gastos do CIPAE G8 com destinação final de RSU para os próximos 20 anos (Equação 9), nos moldes atuais:

$$GDRSU = (GCTT + GTDF) \times 12 \times 20$$

$$GDRSU = (R\$ 107.859,45 + R\$ 25.632,46) \times 12 \times 20 \quad (9)$$

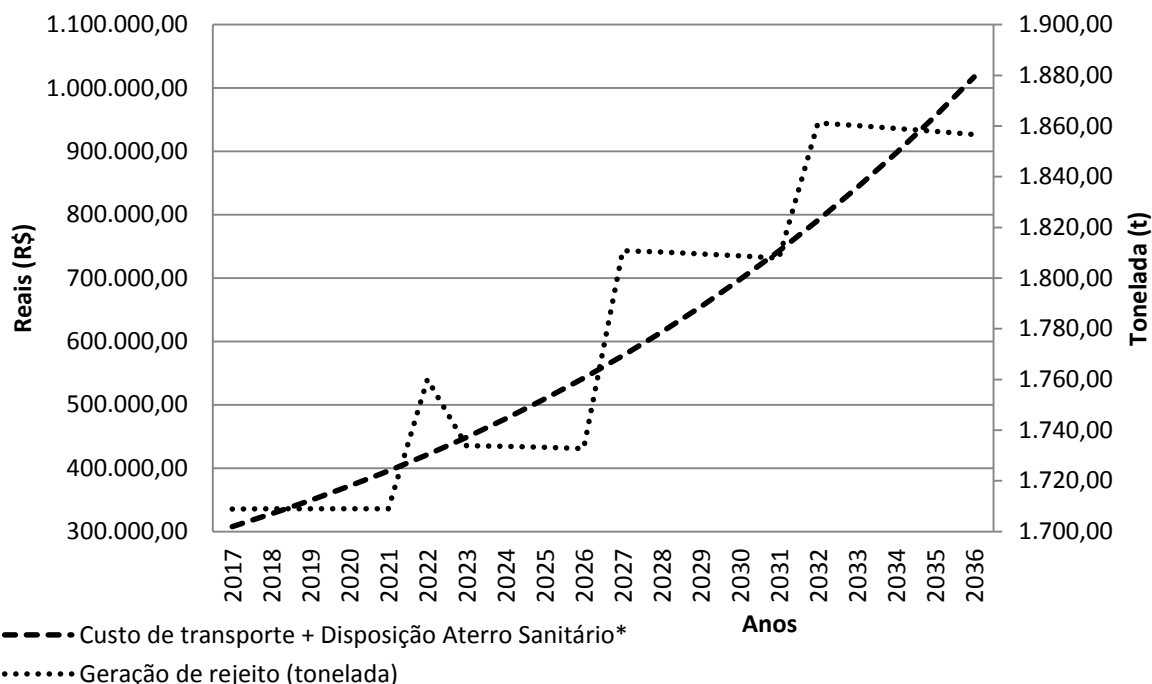
$$GDRSU = R\$ 32.038.058,40$$

Legenda: Gastos em destinação de RSU (GDRSU); Gastos com a coleta, transporte e triagem (GCTT); Gastos com transporte e disposição final (GTDF).

5.3.1 Custos mantendo a disposição final dos rejeitos em aterros sanitários de terceiros e implantação da central de triagem e compostagem no CIPAE G8

Considerando a implantação da central de triagem e compostagem, estima-se que somente o rejeito será encaminhado para aterro sanitário. Para tanto, será considerado somente os custos provenientes do transporte e disposição final em aterro sanitário de terceiros, na Figura 59 é demonstrada a projeção da geração de rejeito e dos custos (considerando uma taxa de inflação de 6,5% ao ano) para um horizonte de 20 anos, sendo encaminhado o rejeito para aterros sanitários de terceiros, totalizando um valor de R\$ 11.942.257,80.

Figura 59: Projeção da geração e dos custos com transporte e disposição final de rejeito em aterro sanitário terceirizado



Fonte: Autora (2016).

(*) Taxa da projeção da inflação (6,50% ao ano)

5.3.2 Investimos para a implantação de um aterro sanitário no CIPAE G8

Para a implantação de um aterro sanitário próprio são necessários investimentos iniciais. Dessa forma, foram realizados orçamentos com empresas do ramo localizadas na região do Vale do Taquari. Nas Tabelas 26 a 29 são apresentados os gastos em investimentos para a implantação e operação do aterro sanitário consorciado na área territorial do CIPAE G8, contando com a implantação e operação.

Tabela 26: Custos com a implantação do aterro sanitário do CIPAE G8

Bem	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Aquisição da área	22	hectare	R\$ 15.000,00	R\$ 330.000,00
Projeto técnico (civil e arquitetônico das infraestruturas)	1	und	R\$ 50.000,00	R\$ 50.000,00
Taxa de licenciamento (LP, LI e LO) - Porte mínimo e alto potencial poluidor	1	und	R\$ 833,55	R\$ 833,55

Bem	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Terraplanagem/Aterro da área para a implantação da célula	61.667	m³	R\$ 7,15	R\$ 220.458,35
Impermeabilização da célula com geomembrana (2 mm)	21.214,38	m²	R\$ 32,00	R\$ 678.860,32
Brita nº 4 para a impermeabilização	2700	m³	R\$ 45,00	R\$ 121.500,00
Areia para impermeabilização	1012,5	m³	R\$ 75,00	R\$ 75.937,50
Cobertura parcial da célula	1	und	R\$ 293.000,00	R\$ 293.000,00
Reservatório para contenção de percolado 20 m³ com tampa	3	und	R\$ 4.411,00	R\$ 13.233,00
Bomba (2 hp) para retorno do percolado a célula	1	und	R\$ 2.000,00	R\$ 2.000,00
Dreno de gás, com cano galvanizado e queimador tipo <i>Flare</i> (100mm) mais grade de arame galvanizado e brita nº2	10	und	R\$ 11.280,00	R\$ 112.800,00
Tubulação PVC 200mm	250	m	R\$ 55,00	R\$ 13.750,00
Piezômetro	4	und	R\$ 2.250,00	R\$ 9.000,00
Total	-	-	R\$ 378.988,70	R\$ 1.921.372,71

Fonte: Autora (2016).

Tabela 27: Custos referentes a eletrodomésticos e móveis para disposição na estrutura administrativa

Bem	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Geladeira	1	und	R\$ 1.225,00	R\$ 1.225,00
Fogão	1	und	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Mesa escritório	1	und	R\$ 450,00	R\$ 450,00
Cadeiras	4	und	R\$ 365,00	R\$ 1.460,00
Computador	1	und	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
Impressora	1	und	R\$ 400,00	R\$ 400,00
Armário	1	und	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Total	10	und	R\$ 4.340,00	R\$ 5.435,00

Fonte: Autora (2016).

Tabela 28: Custos referentes à operação do aterro sanitário

Bem	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Estrutura administrativa (7x5m)	35	m²	R\$ 1.000,00	R\$ 35.000,00
Sanitários (2x2m)	4	m²	R\$ 1.400,00	R\$ 5.600,00
Guarita de monitoramento (2x2m)	4	m²	R\$ 1.000,00	R\$ 4.000,00
Cercamento da área	400	m	R\$ 120,00	R\$ 48.000,00
Cortinamento vegetal	1	und	R\$ 2.500,00	R\$ 2.500,00
Portão	1	und	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
Balança rodoviária para pesagem dos caminhões	1	und	R\$ 115.000,00	R\$ 115.000,00
Máquina retroescavadeira	1	und	R\$ 300.000,00	R\$ 300.000,00

Bem	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Deslocamento telhado	3	-	R\$ 100.000,00	R\$ 300.000,00
Análises físico-químicas (Trimestral)	80	und	R\$ 711,00	R\$ 56.880,00
Total	-	-	R\$ 525.257,00	R\$ 870.480,00

Fonte: Autora (2016).

Tabela 29: Equipamentos de proteção individual (EPIs) para o encarregado

Cargo/Função:		Encarregado pelo aterro sanitário		
Discriminação	Medida	Quantidade Anual	Custo Unitário	Custo de Aquisição
Camisetas	und	3	R\$ 18,00	R\$ 54,00
Calças	und	3	R\$ 30,00	R\$ 90,00
Tênis/Botina	und	2	R\$ 48,00	R\$ 96,00
Colete reflexivo	und	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Luvas de Proteção	und	6	R\$ 3,00	R\$ 18,00
Capas de Chuva	und	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00
Total	-	-	-	R\$ 358,00
Total – 20 anos	-	-	-	R\$ 7.160,00

Fonte: Autora (2016).

Portanto, o investimento necessário para a implantação e operação, abrangendo os custos com equipamentos, móveis e estrutura para a operação do aterro sanitário será de aproximadamente R\$ 2.804.447,71, considerando os investimentos mais relevantes para implantação do mesmo.

5.3.3 Custos Fixos

Na operação do aterro sanitário do CIPAE G8 serão gerados custos fixos, dentre eles, pode-se citar os funcionários, energia elétrica, combustível e manutenção de maquinário.

A Tabela 30 apresenta os custos fixos com a mão de obra, abrangendo o encarregado que irá realizar os serviços pesagem dos caminhões, operação da retroescavadeira e demais serviços gerais, bem como, o aterro sanitário possuirá um responsável técnico por toda a operação do mesmo. Quanto aos valores de salários, tanto do encarregado e do responsável técnico são compatíveis com os valores do mercado atual, totalizando um custo anual de R\$ 113.141,60.

Tabela 30: Custos com mão de obra

Cargo/Função:	Encarregado	Quantidade:	1	Sal. Base:	R\$ 2.500,00
Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Mensal	Custo Anual
Salário Base	Hora	220	R\$ 11,36	R\$ 2.500,00	R\$ 30.000,00
Férias	1/3	73,33	R\$ 11,36	R\$ 69,44	R\$ 833,33
13º Salário	Hora	220	R\$ 11,36	R\$ 208,33	R\$ 2.500,00
Horas Extras (50%)	Hora	0	R\$ 17,05	R\$ -	R\$ -
Horas Extras (100%)	Hora	0	R\$ 22,73	R\$ -	R\$ -
Adic. Insalubridade	%	20	R\$ -	R\$ 500,00	R\$ 6.000,00
Fgts	%	8	R\$ -	R\$ 262,22	R\$ 3.146,67
Inss	%	20	R\$ -	R\$ 555,56	R\$ 6.666,67
Terceiros	%	5,8	R\$ -	R\$ 190,11	R\$ 2.281,33
			Total	R\$ 4.285,67	R\$ 51.428,00

Cargo/Função:	Responsável Técnico	Quantidade:	1	Sal. Base:	R\$ 3.000,00
Discriminação	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo Mensal	Custo Anual
Salário Base	Hora	220	R\$ 13,64	R\$ 3.000,00	R\$ 36.000,00
Férias	1/3	73,33	R\$ 13,64	R\$ 83,33	R\$ 1.000,00
13º Salário	Hora	220	R\$ 13,64	R\$ 250,00	R\$ 3.000,00
Horas Extras (50%)	Hora	0	R\$ 20,45	R\$ -	R\$ -
Horas Extras (100%)	Hora	0	R\$ 27,27	R\$ -	R\$ -
Adic. Insalubridade	%	20	R\$ -	R\$ 600,00	R\$ 7.200,00
Fgts	%	8	R\$ -	R\$ 314,67	R\$ 3.776,00
Inss	%	20	R\$ -	R\$ 666,67	R\$ 8.000,00
Terceiros	%	5,8	R\$ -	R\$ 228,13	R\$ 2.737,60
			Total	R\$ 5.142,80	R\$ 61.713,60

Fonte: Autora (2016).

Os valores utilizados para a estimativa de custo de energia elétrica, abastecimento de água e serviços de telefonia são compatíveis com um escritório comum, conforme demonstrado na Tabela 31.

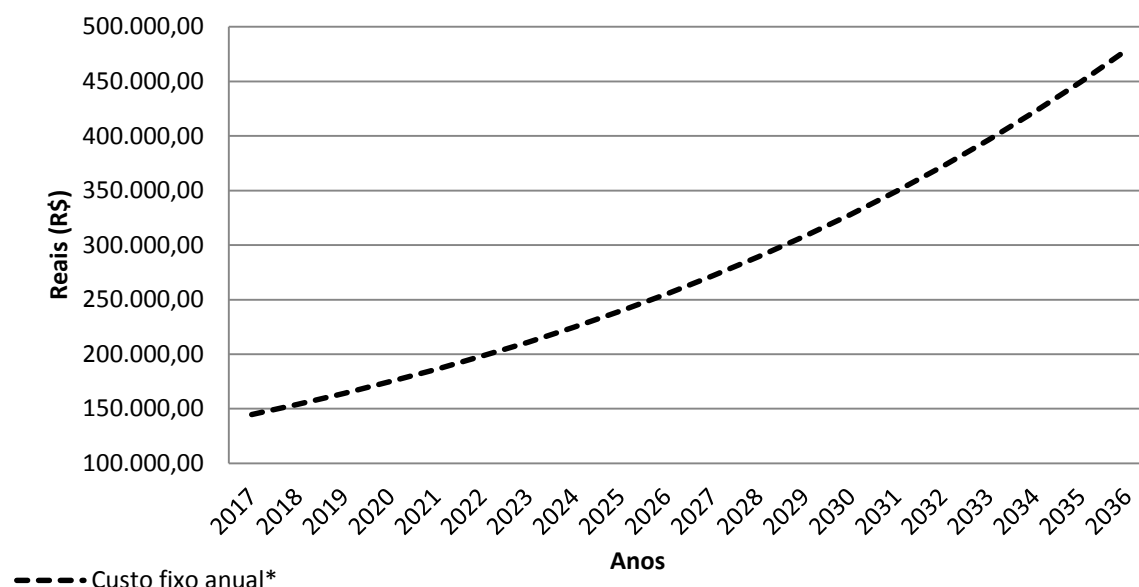
Tabela 31: Custos fixos com serviços gerais

Serviços	Custo mensal	Custo anual
Telefone	R\$ 120,00	R\$ 1.440,00
Abastecimento de água	50,00	R\$ 600,00
Energia elétrica	100,00	R\$ 1.200,00
Manutenção da retroescavadeira	500,00	R\$ 6.000,00
Combustível da retroescavadeira	1.860,00	R\$ 22.320,00
Total	R\$ 2.630,00	R\$ 31.560,00

Fonte: Autora (2016).

A projeção de custos fixos na operação (mão de obra e demais serviços gerais) do aterro sanitário para a disposição dos rejeitos provenientes do CIPAE G8, para os próximos 20 anos, totalizará um valor de R\$ 5.618.084,28, sendo que neste valor está incluso a taxa da projeção da inflação de 6,50% ao ano (Figura 60).

Figura 60: Projeção do custo fixo anual para o horizonte de 20 anos



Fonte: Autora (2016).

(*) Taxa da projeção da inflação (6,50% ao ano)

Portanto, estima-se que para a operação do aterro sanitário no horizonte de 20 anos seriam gastos um valor total de R\$ 5.618.084,28.

5.3.4 Comparativos

O comparativo realizado compreende o valor gasto para o transporte e disposição final do rejeito para aterro sanitário terceirizado e o valor de implantação de um aterro sanitário próprio com vida útil de 20 anos.

Conforme os contratos de prestação de serviços disponibilizados pelos municípios, o valor de envio destes rejeitos para aterros sanitários terceirizados é de R\$ 25.632,46 por mês atualmente. Se multiplicarmos este valor pelos 20 anos de vida útil que o aterro sanitário do consórcio atingirá e com percentual anual de inflação obtém-se um valor de R\$ 11.942.257,80.

Com a implantação de um aterro sanitário próprio calcula-se que seriam gastos na fase de implantação cerca de R\$ 1.926.807,71 (implantação e todos os equipamentos da estrutura administrativa) e na fase de operação, aproximadamente R\$ 877.640,00 (operação e EPIs) e um custo fixo de R\$ 5.618.084,28, compreendendo toda a vida útil de 20 anos. Na Tabela 32 é demonstrada os custos totais para a implantação e operação do aterro sanitário.

Tabela 32: Investimentos totais para a implantação e operação do aterro sanitário

Investimentos	Valor (R\$)
Implantação do aterro sanitário	R\$ 1.926.807,71
Operação do aterro sanitário	R\$ 877.640,00
Mão de obra (fixos)	R\$ 5.618.084,28
Total	R\$ 8.422.532,00

Fonte: Autora (2016).

Portanto, a relação entre continuar o processo de terceirização da disposição final dos rejeitos provenientes do CIPAE G8 e a implantação e operação de um aterro sanitário próprio (Tabela 33) se daria da seguinte forma:

Tabela 33: Comparativos dos custos em relação a terceirização e a implantação de um aterro sanitário

Síntese dos custos	
Alternativas	Valores
Terceirização por 20 anos	R\$ 11.942.257,80
Implantação de aterro sanitário próprio com uma vida útil de 20 anos	R\$ 8.422.532,00

Fonte: Autora (2016).

Neste contexto, o CIPAE G8 teria uma economia de aproximadamente R\$ 3.519.725,80 em 20 anos.

Ainda, se realizada uma cobrança de uma tarifa adequada para os munícipes, pelos serviços de coleta, transporte e disposição final dos resíduos, a administração financeira do aterro sanitário pode tornar-se autossustentável. Dessa forma, baseado nas considerações, nos dados levantados e no que foi estimado relevante no presente estudo, a implantação de um aterro sanitário próprio na área territorial do CIPAE G8 terá viabilidade financeira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do presente trabalho, bem como sugestões de utilização dos materiais dessa pesquisa pelo poder público na tomada de decisões e no planejamento de um futuro projeto de implantação de aterro sanitário consorciado na área territorial do CIPAE G8.

Atingir o equilíbrio entre aspectos ambientais, socioeconômicos, de uso e cobertura da terra e operacionais é o ideal na seleção da área de um aterro sanitário. De tal modo, que uma área adequada significa menos custos com preparo, operação e encerramento do aterro sanitário, mas essencialmente geram-se menos riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Desta forma, a utilização de geotecnologias para a avaliação de áreas aptas para a implantação do aterro sanitário constitui-se numa importante ferramenta de planejamento ambiental.

A estruturação do referido estudo integrou-se em três partes, inicialmente realizou-se a seleção da área, após o dimensionamento do aterro sanitário e pôr fim a análise da viabilidade financeira para implantação e operação do mesmo. No presente estudo realizou-se análise de diversas variáveis para encontrar as melhores áreas para implantação de aterro sanitário no CIPAE G8, no entanto, esse é um estudo inicial e levantamentos de campo são imprescindíveis para a implantação de aterros sanitários.

A análise multicriterial, baseada no processo analítico hierárquico, possibilitou a escolha e a determinação dos pesos. O preenchimento da matriz AHP considerou a opinião da autora, bem como, a de especialistas da área e representante do

CIPAE G8, uma vez combinando diversas análises de diferentes entendedores no assunto, resultando na determinação dos pesos de maneira mais precisa e de forma imparcial.

O desenvolvimento deste trabalho, conforme a metodologia proposta possibilitou o alcance dos objetivos estabelecidos, com uma expectativa otimista, pois foram identificadas 68 áreas, de 1 a 13,71 hectares, com aptidão $\geq 0,80$ para a instalação de aterro sanitário no CIPAE G8. Destas 68 áreas foram visitadas duas áreas para constatação, sendo que uma localizada no município de Boqueirão do Leão e outra em Progresso, as quais demonstraram-se em conformidade com os critérios estabelecidos.

De acordo com a metodologia o CIPAE G8 contará com uma população de 42.333 habitantes no ano de 2036. Estima-se que a célula receberá um volume total de rejeito de 85.393,04 m³ em um horizonte de vida útil de 20 anos. Dessa forma, necessitando de uma área de aproximadamente 1 hectare para implantação de uma célula com dimensões totais de 145 metros de comprimento, por 60 metros de largura, para disposição final somente do rejeito.

Mantendo a disposição final em aterro sanitário terceirizado estima-se que o CIPAE G8 pagará um valor total de R\$ 11.942.257,80 para o horizonte de 20 anos. Caso, o consórcio venha implantar o aterro sanitário em sua área territorial, estima-se que os investimentos serão de aproximadamente R\$ 8.422.532,00, dispondo de toda a infraestrutura básica necessária para a operação do mesmo, gerando uma redução dos custos que os municípios possuem atualmente com a disposição final. Dessa forma, espera-se que com a elaboração desse trabalho o CIPAE G8 utilize-o como base para um futuro projeto de implantação de aterro sanitário consorciado.

Sugere-se que futuramente seja realizado um novo estudo de caracterização gravimétrica no CIPAE G8, para atualização de dados, assim como, um estudo voltado para traçar a roteirização dos caminhões coletores. Ainda, recomenda-se que sejam elaborados estudos voltados para que outros municípios da região se integrem ao CIPAE G8 e/ou utilizem este modelo para estudos semelhantes para outros consórcios.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: **Aterro de Resíduos Não-Perigosos: Critérios para Projeto, Implantação e Operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; BRANCO, José Eduardo Holler; CAIXETA, José Vicente **Filho. A logística de transporte dos resíduos sólidos domiciliares (RSD)** In: BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; BRANCO, José Eduardo Holler; CAIXETA, José Vicente **Filho. A logística de transporte dos resíduos sólidos domiciliares (RSD)** In: BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi. Desenvolvimento Sustentável e a Questão dos Resíduos Sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.p.87-106.

BERNARDES, F. F.; SUERTEGARAY, D. M. A. **O Uso de Geotecnologias para o Estudo do Conceito de (Meio) Ambiente no Ensino Médio**. Geografia: Ensino & Pesquisa. Santa Maria, v. 13, n. 2, julho de 2009.

BIJU, Bárbara Pavani. **Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção e de demolição, 2015**. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de PósGraduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1328/1/CT_PPGECC_M_Biju,%20B%C3%A1rbara%20Pavani_2015.pdf. Acesso em: 22/04/2016.

BORN, Viviane. **Avaliação da Aptidão de áreas para a Instalação de Aterro Sanitário com o Uso de Ferramentas de Apoio à Decisão por Múltiplos Critérios**. 2013. Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

BORTOLATTO, Glauco Rodrigo; AHLERT, Siclério. **Geotecnologias para a escolha de um local para possível construção de um aterro sanitário em Bento Gonçalves, RS**. 23º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012. Disponível em: <http://www.proamb.com.br/downloads/32ctja.pdf>. Acesso em: 17/04/2016.

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. 41 ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

BRASIL. Decreto Federal 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**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111107.htm. Acesso em: 04/01/2016.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm. Acesso em: 04/01/2016.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em: 04/01/2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, set. 2011**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniaodir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf. Acesso em: 04/01/2016.

CALDERAN, Thanabi Bellenzier. **Consórcio Público Intermunicipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domésticos. Um Estudo de Caso**. Projeto de Mestrando em Meio ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário UNIVATES, 2013.

CALIJURI, M. L. **Treinamento em Sistemas de informações Geográficas**. Viçosa: Núcleo SiGEO, Universidade Federal de Viçosa, 2000.

CALIJURI, MARIA LÚCIA; MELO, ANDRÉ LUIS DE OLIVEIRA; LORENTZ, JULIANA FERREIRA. **Identificação de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários com Uso de Análise Estratégica de Decisão (2002)**. Disponível em: http://www.ip.pbh.gov.br/ANO4_N2_PDF/IP4n2.pdf#page=71. Acesso em: 18/04/2016.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; Monteiro, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação, 2001**. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 18/04/2016.

CÂMARA, Gilberto; QUEIROZ, Gilberto Ribeiro de. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica (2001)**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>. Acesso em: 17/04/2016.

CAMPOS, Vanessa Ribeiro; CAZARINI, Edson Walmir. **Estudo dos critérios de decisão para localização de aterros sanitários para auxiliar na avaliação de impactos ambientais, 2010**. 3º Simpósio Ibero-americano de Engenharia de Resíduos. 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.redisa.uji.es/artSim2010/Impacto%20e%20Risco%20Ambiental/Estudo%20dos%20crit%C3%A9rios%20de%20decis%C3%A3o%20para%20localiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20aterros%20sanit%C3%A1rios.pdf>. Acessado em: 22/04/2016.

CASSALECCHI, José Ênio. **O Brasil de 1945 ao Golpe Militar**. 2 ed. São Paulo: Contexto, 2016.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003 294 p. : il. Projeto PROSAB.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; RUTKOWSKI, Emília Wanda; JUNIOR, Isaac Volschan; CASSINI, Sérgio Túlio Alves. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: Guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à teoria geral da administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações**. 7. ed. rev. e atual. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CIPAE G8, Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8. **Projetos Regionais**. Disponível em: <http://cipaeg8.rs.gov.br/site/informacoes/projetos>. Acesso em: 19/02/2016.

CIPAE G8, Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8. **Estatuto Social, 2010**. Disponível em: <http://cipaeg8.rs.gov.br/files/legislacao/EstatutoCIPAE8Consolidado.pdf>. Acesso em: 19/02/2016.

CIPAE G8, Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8. **Plano Municipal de Saneamento Básico, 2015**. Disponível em: <http://cipaeg8.rs.gov.br/saneamento-basico>. Acesso em: 19/02/2016.

CIPAE G8, Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8. **Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, 2013**. Disponível em: http://cipaeg8.rs.gov.br/files/projetos_regionais/pigirs-planos_municipais15.pdf. Acesso em: 19/02/2016.

CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE nº 404/2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

CPRM, Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Mapeamento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**, escala 1:750.000. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf Acesso em: 08/05/2016.

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows: **Introdução e Exercícios Tutoriais –Versão 2**. Tradução: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre: UFRGS - Centro de Recursos Idrisi, 1998.

EMBRAPA, Empresas Brasileiras de Agropecuária. **Sistema de Classificação de Solos**, 2006.

ENSSLIN, L.; Montibeller Neto, G; NORONHA, S.M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: insular, 2001.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC (Esri). ArcGIS Help 10.1. **Eris resource, 2014**. Disponível em: <http://www.esri.com/>. Acesso em 22/04/2016.

FAGUNDES, Diana da Cruz. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio**. Sociedade e Natureza, v. 21, n. 2, p. 159-179, ago. 2009. Disponível em: www.scielo.org. Acesso em 22/04/2016.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **Portaria nº. 12/95 – SSMA**. Aprovada a Norma Técnica nº. 03/95 - FEPAM, que dispõe sobre a classificação dos empreendimentos de processamento e disposição final no solo, de resíduos sólidos urbanos, quanto à exigibilidade de estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental (eia/rima) no licenciamento ambiental no estado do rio grande do sul.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Conab, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/>. Acesso em: 16/04/2016.

GOMES, Daiene da Silva. **Resíduos Sólidos Urbanos Gerados no Rio Grande do Sul**. Revista Pollution Engineering, v.7, n. 02, 2010. Disponível em: <http://www.revistape.com.br/artigo-tecnico/residuos-solidos-urbanos-gerados-no-rio-grande-do-sul/3213>. Acesso em: 28/01/2016.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, Marilson Alves; TANAKA, Ana Karolina; AMEDOMAR, André de Azevedo. **A Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos: Alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso**. Future Studies Research

Journal ISSN 2175-5825 São Paulo, v.5, n.1, pp. 96-129, Jan./Jun. 2013. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/10663/a-destinacao-final-dos-residuos-solidos-urbanos>. Acesso em: 05/01/2016.

GONZATTI, Roberto. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Domésticos do Município de Sério/RS com vista à integração consorciada com outros municípios, 2012**. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/312/1/RobertoGonzatti.pdf>. Acesso em: 23/04/2016.

HASENACK, Heinrich; WEBER, Eliseu. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HOFF, Rosemary; DUCATI, Jorge Ricardo; COUTINHO, André Luis Silva; TONIETTO, Jorge. **Uso de imagens orbitais no estudo das características espectrais das rochas para o estabelecimento de critérios para uma indicação de procedência vinícola na região de Pinto Bandeira, Bento Gonçalves, RS, Brasil**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 233-240.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>. Acesso em: 16/01/2016.

JENSEN, J. R., 1949, **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KAJINO, Leica Kotsuko. **Estudo De Viabilidade De Implantação, Operação E Monitoramento De Aterros Sanitários: Uma Abordagem Econômica**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru, 2005. Disponível em: http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90800/kajino_ik_me_bauru.pdf?sequence=1. Acesso em: 06/05/2016.

KONRAD, Odorico; CASARIL, Camila Elis; SCHMITZ, Michele. **Estudo Dos Resíduos Sólidos Domésticos De Lajeado/Rs Pela Caracterização Gravimétrica**. Revista Destaques Acadêmicos, Ano 2, N. 4, 2010 - Cetec/Univates. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/viewFile/110/68>. Acesso em: 06/05/2016.

LANZA, Vera Christina Vaz; CARVALHO, André Luciano de. FEMA, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário. Belo Horizonte: FEAM, 2006**. 36p.: il. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/C%20artilha%20Aterro2.pdf>. Acesso em: 08/05/2016.

LIMA, José Dantas de. **Consórcio de desenvolvimento intermunicipal: instrumento de integração regional**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:peNnFCBi9tsJ:www.rbgdr.>

net/revista/index.php/rbgdr/article/download/790/308+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 17/01/2016.

LOURENÇO, Roberto Wagner; SILVA, Darllan Collins da Cunha; SALES, Jomil Costa Abreu; MEDEIROS, Gerson Araujo; OTERO, Rafael Arosa Prol. **Metodologia para Seleção de Áreas Aptas à Instalação de Aterros Sanitários Consorciados Utilizando SIG**. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 37 n. 4 set-dez. 2015, p. 122-140. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM apud BATISTELLA, M.; MORAN, E, F. Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina. São Paulo: SENAC São Paulo. 2008. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zzFY4JibkegJ:cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/articulo/download/15973/pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 11/01/2016.

LUCENA; Luciana de Figueirêdo Lopes. **A Análise Multicriterial na Avaliação de Impactos Ambientais, 1996**. Disponível em: http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/i_en/mesa3/7.pdf. Acesso em: 12/01/2016.

MARQUES, Marília Daher. **Seleção de área para Implantação de Aterro Sanitário Simplificado – Estudo de Caso para Município de Guaporé – GO, 2011**. Programa de Pós-Graduação apud PFEIFFER, S. C., Subsídios para ponderação de fatores ambientais na localização de aterros sanitários de resíduos sólidos, utilizando o Sistema de Informações Geográficas. Tese de Doutorado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2001. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/621?locale=pt_BR. Acesso em: 14/01/2016.

MARTINS, Patrícia de A. **Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro urbano de Igrejinha – RS**. Dissertação (Mestrado de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/86449>. Acesso em: 17/04/2016.

MELLO, Leonardo Freire de; HOGAN, Daniel Joseph. **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento brasileiro**. Campinas: Núcleo de Estudos de População-Nepo/Unicamp, 2007. 240p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Política de Resíduos Sólidos apresenta resultados em 4 anos, 2014**. Disponível em: http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?nlink=revistaartigos_leitura&artigo_id=9750. Acesso em 18/04/2016.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais: Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários / Ministério do Meio Ambiente**. – Brasília: MMA, 2009. 67p. ; il. color. ; 29cm.

MONTEIRO, José Henrique Penido; FIGUEIREDO, Carlos Eugênio Moutinho; MAGALHÃES, Antônio Fernando; MELO, Marco Antônio França de; BRITO, João Carlos Xavier de; ALMEIDA, Tarquínio Prisco Fernandes de; MANSUR, Gilson Leite. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos** (página 27). Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, 2001, Rio de Janeiro.

Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 18/04/2016.

MORAES, I. S.; FERREIRA, H. S.; OLIVEIRA, S. F. C. A. **Utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém-PA.** In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010. Recife: 2000. Artigos, p. 001-004 Disponível em: [https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Cartografiae SIG/SIG/R_215.pdf](https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Cartografiae%20SIG/SIG/R_215.pdf). Acesso em: 26/03/2016.

MORAES, Indiara Bruna Costa Moura; RIBEIRO, Gilberto Pessanha; LARENTIS, Dante Gama. **Sistema De Informação Geográfica (SIG) aplicado ao mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamento no município de Angra Dos Reis-RJ.** IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 06- 09 de maio de 2012. p. 001 – 006.

MORAN, E, F. **Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina.** São Paulo: SENAC São Paulo. 2008. Disponível em: <http://webcache.googlusercontent.com/search?q=cache:zzFY4JibkegJ:cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/articulo/download/15973/pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 11/01/2016.

MOREIRA, Fábio Roque; CÂMARA, Gilberto; FILHO, Raimundo Almeida. **Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas. Inferência Geográfica e Suporte à Decisão.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap9-inferencia.pdf>. Acesso em: 18/04/2016.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano, 2014.** 3ª ed. – Rio de Janeiro: Interciência, 2014, 312 p.

NETO, A.S; IWAI.C.K; Wolmer F.A; POTENZA.J.L; Assumpção. M.H.P.L.A. **Manual de Operação de Aterro Sanitário em Valas.** São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/cea/Aterro_valas.pdf. Acesso em: 14/01/2016.

NOGUEIRA, Raimundo Costa; ROCHA, Marcio Soares. **Auditorias Operacionais em Aterros Sanitários. VI Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas (VI SINAOP) Auditorias Operacionais em Aterros Sanitários.** Florianópolis, novembro, 2001. Disponível em: <http://ibraeng.org/public/uploads/publicacoes/HM3KcBa..kZ.2sanitarios.PDF>. Acesso em: 14/01/2016.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

NUNES JUNIOR, Luiz Fernando. **Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios: Pesquisa-Ação sobre o Método AHP em Pequenas Empresas, 2006.** Dissertação. Curso de Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté. Disponível em: http://ppga.com.br/mestrado/2006/nunesjr-luis_fernando.pdf. Acesso em: 18/04/2016.

ORNELAS, A. R. **Aplicação de métodos de análise Espacial na gestão dos resíduos sólidos Urbanos. 2011.** 101 f. Dissertação (Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8LVPN8/dissertacao_ad_liao_r_ornelas.pdf?sequence=1. Acesso em: 21/04/2016.

PEIXOTO, João Batista. **Manual de Implantação de Consórcios Públicos de Saneamento.** Brasília, 2008. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/eng_manualCapacitacao.pdf. Acesso em: 12/01/2016.

PEREIRA, Suellen Silva. **Panorama da Gestão dos Resíduos Sólidos de Serviço de Saúde na Cidade de Campina Grande/PB: um enfoque da percepção ambiental apresentada por profissionais da saúde. 2009.** Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Disponível em: http://www.prpg.ufpb.br/prodema/novosite/smartgc/uploads/arquivos/suellen_silva.pdf. Acesso em: 14/04/2016.

PIROLI, EDSON LUÍS. **Introdução ao Geoprocessamento.** Ourinhos: UNESP/Campus Experimental de Ourinhos, São Paulo, 2010. Disponível em: http://andersonmedeiros.com/ebooks/livro_introducao_ao_geoprocessamento.pdf. Acesso em: 17/04/2016.

PRINA; Bruno Zucuni. **Geotecnologias Aplicadas no Mapeamento das Áreas de Inundação do Perímetro Urbano de Jaguari/RS, 2015.** Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppggeo/images/dissertacoes/dissertacoes_2015/Bruno%20Zucuni%20Prina%20-%20Dissertao.pdf. Acesso em: 14/04/2016.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3.ed. ver. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPIS, 1995. 65 p.

RIBEIRO, Renan Lucas Pacheco. **Análise da viabilidade ambiental e econômica para implantação de aterro sanitário em Sarandi – RS.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, 2011. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2011-2/Renan%20Lucas%20Pacheco%20Ribeiro.pdf>. Acesso em: 27/01/2016.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (2015-2034), Rio Grande do Sul, dezembro de 2014.** Disponível em: <http://www.pers.rs.gov.br/noticias/arq/ENGB-SEMA-PERS-RS-40-Final-rev01.pdf>. Acesso em 10/01/2016.

ROSA, Roberto. **Geotecnologias na Geografia Aplicada. Revista do Departamento de Geografia.** Uberlândia, out. 2005, p. 81-90. Disponível em: http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf. Acesso em: 26/03/2016.

ROSSATO, Maira Suertegaray. **Os climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia. 2011.** Tese (Doutorado) – Universidade do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós- Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS – BR, 2011.

SAATY T.L. Risk—Its Priority and Probability: **The Analytic Hierarchy Process.** Risk Analysis Journal. n 7, p. 159-172, jun. 1987.

SANTOS, Alexandre Rosa; EUGENIO, Fernando Coelho; SOARES, Vicente Paulo; MOREIRA, Mauricio Alves; RIBEIRO, Carlos Antonio Alvares Soares; BARROS, Kelly de Oliveira. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS. Processamento de Imagens Orbitais. Volume I. 2014.** Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Sensoriamento_Remoto_ArcGIS10_22_Processamento_Imagens_Orbitais/LibroArcGISProcessamentoImagensOrbitais.pdf. Acesso em: 16/04/2016.

SANTOS, Daniel Martins dos. **Zoneamento das Áreas Suscetíveis a Movimentos de Massas, Enxurradas e Inundações no Município de Marques de Souza-RS. 2015.** Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

SANTOS, Gemmelle Oliveira; SILVA, Luiz Fernando Ferreira. **Os significados do lixo para garis e catadores de Fortaleza (CE, Brasil).** Ciência e Saúde Coletiva, v. 16, n. 8, p. 3413-3419, ago. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232011000900008&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 16/04/2016.

SANTOS, Juliana Silveira dos; GIRARDI, Alessandro Gonçalves. **Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS, 2007.** Disponível em: <http://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.52/doc/5491-5498.pdf>. Acesso em 18/04/2016.

SILVA, Diva Martins Rosas e. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais.** Dissertação de mestrado apresentada como requisito para obtenção de título de mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

SILVA, Guilherme Rodrigues. **Consórcio Público Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.** Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário UNIVATES, 2013. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/371/1/GuilhermeSilva.pdf>. Acesso em: 10/01/2016.

SILVA, J. X. **O que é Geoprocessamento?**. Rio de Janeiro – RJ: Revista do CREARJ, 2009.

SILVA, Renato Pires da; FERREIRA, Osmar Mendes. **Aterro Sanitário de Aparecida de Goiânia, medição da Vazão de Chorume.** Disponível: <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/ATE>

RRO%20SANIT%C3%81RIO%20DE%20aPARECIDA%20DE%20GO
I%C3%82NIA,.pdf. Acesso em: 20/05/2016.

TRENTIN, Romario; BAZZAN, Thiago. O uso de geotecnologias para análise de áreas de risco e desastres naturais. In: ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN, Romario. **Desastres Naturais no Rio Grande do Sul**. Editora UFSM, Santa Maria, 2013. 496 p.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. p. 1-8.

VARGAS, Ricardo. **Utilizando a Programação Multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio, 2010**. Disponível em: <http://www.ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/>. Acesso em: 22/04/2016.

WEBER, Eliseu; HASENACK, Heinrich. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. In: Anais do GIS Brasil, 2004. Disponível em: http://www2.sorocaba.une.sp.br/professor/robertow/Arquivos%202011/SIG_2011/SIG_aterros_sanitarios2.pdf. Acesso em: 23/04/2016.

ZAMBON, Kátia Livia; CARNEIRO, Adriano Alber de França M.; SILVA, Antônio Nelson Rodrigues da; NEGRI, Jean Cesari. **Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG**. Pesquisa Operacional. vol.25 nº.2 Rio de Janeiro Maio/Agosto. 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382005000200002. Acesso em: 26/03/2016.

ANEXO

ANEXO A – Autorização de uso de dados

UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ACADÊMICA: TANARA SCHMIDT

**MONOGRAFIA: SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO
SANITÁRIO CONSORCIADO: ESTUDO DE CASO PARA O CONSÓRCIO
PÚBLICO INTERMUNICIPAL PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 –
CIPAE G8**

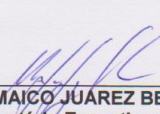
The document is a formal authorization letter. At the top, it features the logos of eight municipalities. Below them, the title 'CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8' is centered. The main heading is 'AUTORIZAÇÃO DE USO DE DADOS'. The body text is a declaration of data use for a thesis by Tanara Schmidt, signed by Maico Juárez Berghahn, Secretary Executive of CIPAE G8, dated January 4, 2016. The signature is in blue ink. At the bottom, there is contact information for the organization.

**CONSÓRCIO PÚBLICO INTERMUNICIPAL PARA
ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 – CIPAE G8**

AUTORIZAÇÃO DE USO DE DADOS

Declaramos para os devidos fins, que cederemos à acadêmica de Engenharia Ambiental Tanara Schmidt, o acesso as informações referente ao Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e aos Planos Municipais de Saneamento Básico dos municípios integrantes do Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8 – CIPAE G8, para serem utilizados no Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental, tendo como título Seleção de Área Apta e Dimensionamento de Aterro Sanitário Consorciado: Estudo de Caso para o Consórcio Público Intermunicipal para Assuntos Estratégicos do G8 – CIPAE G8, que está sob a orientação do Professor Marcelo Luís Kronbauer.

Canudos do Vale, 04 de janeiro de 2016.


MAICO JUÁREZ BERGHAHN
Secretário Executivo do CIPAE G8

R. João José Briesch - 457 - CEP 95933-000 - Centro - Canudos do Vale / RS
CNPJ: 11.884.641/0001-72 - www.cipaeg8.com.br - executivo@cipaeg8.com.br

APÊNDICE

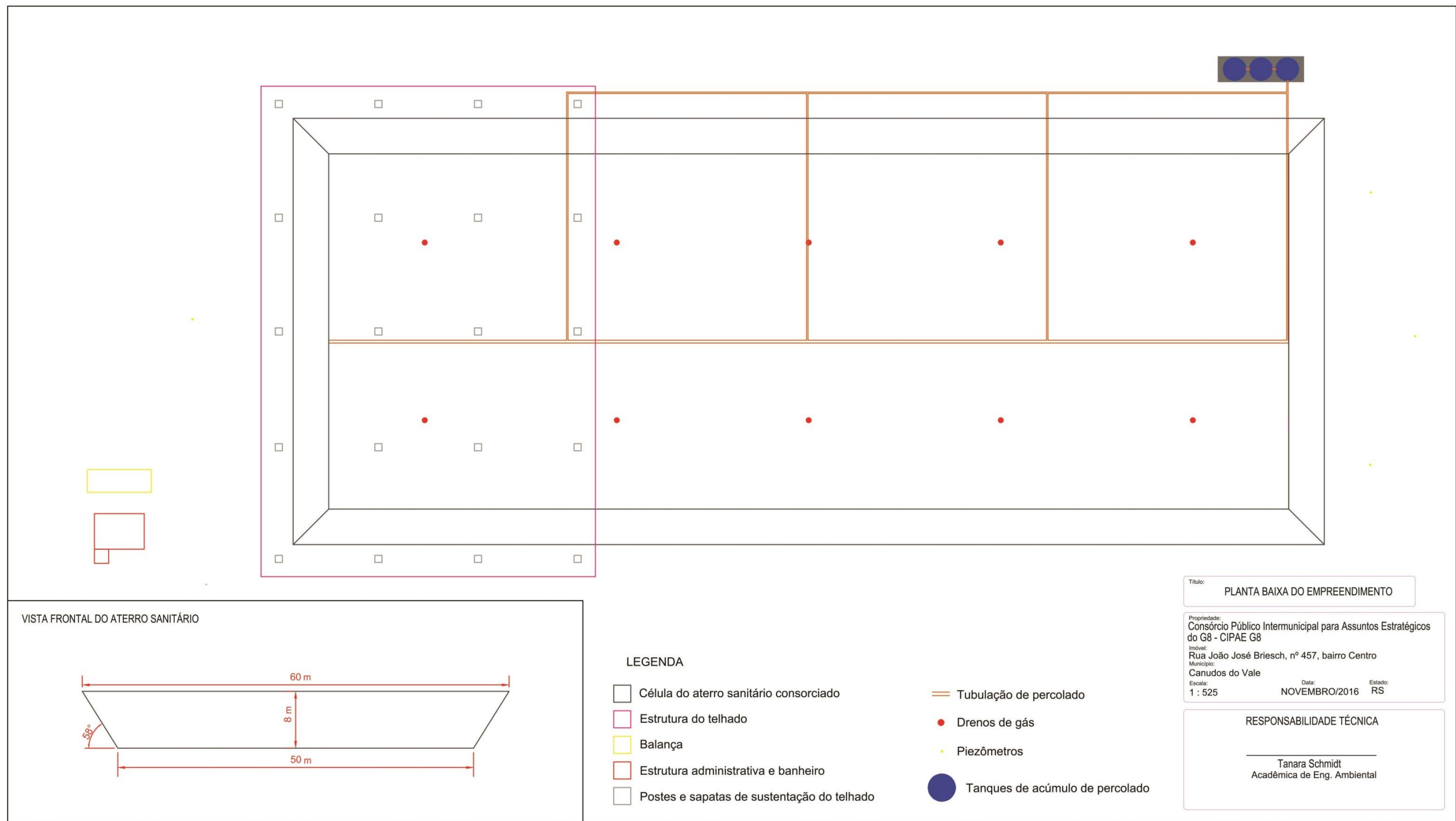
APÊNDICE A - Planta baixa do aterro sanitário

UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ACADÊMICA: TANARA SCHMIDT

**MONOGRAFIA: SELEÇÃO DE ÁREA E DIMENSIONAMENTO DE ATERRO
SANITÁRIO CONSORCIADO: ESTUDO DE CASO PARA O CONSÓRCIO
PÚBLICO INTERMUNICIPAL PARA ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DO G8 –
CIPAE G8**



Fonte: Autora (2016).