UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO À SELEÇÃO DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS E CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:
ÁDRIA KANOME MORI SOARES
Orientador: Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa (UFPA)

BELÉM (PA)
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S676m Soares, Ádria Kanome Mori.
Mapeamento geotécnico aplicado à seleção de áreas preferenciais para instalação de aterros sanitários e cemitérios na região metropolitana de Belém (PA) / Ádria Kanome Mori Soares, . — 2018.
xv, 85 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Geologia de Engenharia. 2. Geoprocessamento. 3. Gestão Ambiental. 4. Resíduos Sólidos. 5. Cemitérios. I. Título.

CDD 624.151

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE GEOLOGIA

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO APLICADO À SELEÇÃO DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS E CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA)

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR

ÁDRIA KANOME MORI SOARES

Como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Geologia

Data da Aprovação: 07 / 12 / 2018

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa

(Orientador – UFPA)

Prof.ª Dr.ª Aline Maria Meiguins de Lima

(Membro – UFPA)

Prof. Dr. Jamer Andrade da Costa

(Membro – UFRA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todos os momentos, exatamente do jeito que aconteceram, que me ajudaram a construir quem sou.

Aos meus pais, Joana e Claudio, que sempre me estimularam a me aperfeiçoar em todos os aspectos, e me deram o suporte e amor necessário. À minha irmã Beatrice Hanae, por ser minha fiel (e paciente) companheira. Aos meus avós – Manoel Benedito (Noé), Damiana, Kanome e Tadashi –, pelo exemplo de vida que me inspira a seguir em frente. Às minhas tias Kikako, Clara e Tereza, além da minha prima Shimene, por todo o apoio e incentivo dado desde os meus primeiros anos de escola.

Ao Prof. Dr. Tony Carlos Dias da Costa, por acreditar no meu potencial e pelas orientações, conselhos e estrutura fornecida, de modo que eu pudesse produzir este trabalho da melhor forma possível.

Aos professores Dr. Francisco de Matos Assis de Abreu e Msc. José Fernando Pina Assis, por tudo o que me ensinaram desde o começo da graduação; não apenas conhecimentos geológicos, mas de vida.

Ao Victor, pelo carinho e compreensão de sempre. Aos amigos que a Geologia me deu, pelas lembranças maravilhosas (principalmente de campo), em especial: Jhoseph, Luísa, Maria Beatriz, Edgard, Murilo, Marcela, Fransua e Isabela.

À Larissa, pela amizade sincera e apoio incondicional. Ao Clube do Livro AFB e ao grupo de mulheres não-brancas, que proporcionaram o alívio da tensão do dia-a-dia, em especial: Paulo, Solaine, Mayumi, Ana Beatriz, Larissa Sayuri, Laura, Emily, Mateus, Laís, Marina, Thaís, Beatriz, Rebeca e Akemi.

Ao pessoal da divisão de geoprocessamento da empresa Terra Meio Ambiente – representado por Tatiane Nascimento e Robson Raposo –, a Paulo Eduardo, a Eiky Tatsuya e a Antonio Gonçalves, pelo direcionamento relacionado aos procedimentos de sensoriamento remoto e processamento de imagens deste trabalho.

"Que outro motivo justificaria a dedicação de toda uma vida ao estudo dos fenômenos naturais, senão uma profunda veneração por sua beleza? A ciência vai muito além da sua mera prática. Por trás das fórmulas complicadas, das tabelas de dados experimentais e da linguagem técnica, encontra-se uma pessoa tentando transcender as barreiras imediatas da vida diária, guiada por um insaciável desejo de adquirir um nível mais profundo de conhecimento e de realização própria."

(Marcelo Gleiser)

RESUMO

Este trabalho utiliza informações geotécnicas com vistas a definir locais preferenciais para instalação de aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA). São analisados atributos da fisiografia do terreno e do uso e ocupação do solo, que interferem no processo de escolha da melhor localização de tais obras de engenharia, objetivando minimização dos custos financeiros, riscos ao ambiente e saúde pública. Tem-se por base mapas de Área Urbana e Expansão Urbana, Áreas de Terra Firme e de Várzea, Áreas Institucionais e Áreas de Proteção Ambiental, Equipotenciométrico do Aquífero Livre, Bacias Hidrográficas, Microbacias Hidrográficas e Direção do Vento. Por meio de cruzamento de dados e interpretação em ambiente SIG do *software ArcGIS* 10.4, são elaboradas duas cartas: Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) e Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), sendo ambas em escala 1:50.000.

Palavras-chave: Geologia de engenharia. Geoprocessamento. Gestão ambiental. Resíduos sólidos. Cemitérios.

ABSTRACT

This paper uses geotechnical data to define preferred sites to sanitary landfills and cemeteries installation. Attributes of terrain physiography and soil use and occupation are analyzed; they interfere in the selection of the best location of such engineering works, aiming at minimizing financial costs, risks to the environment and public health. It is based on maps of Urban Area and Urban Expansion, Solid Ground and Lowland Areas, Institutional Areas and Environmental Protection Areas, Equipotentiometric of the Free Aquifer, Hydrographic Basins, Hydrographic Microbasins and Direction of the Wind. With data crossing and interpretation in GIS environment provided by ArcGIS 10.4 software, it was possible to elaborate two charts: Preferred Areas for the Installation of Sanitary Landfills in the Metropolitan Region of Belém (PA) Chart and Preferred Areas for the Installation of Cemeteries in the Metropolitan Region of Belém (PA) Chart, both being in a scale of 1:50,000.

Keywords: Engineering geology. Geoprocessing. Environmental management. Solid waste. Cemeteries.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, Região Metropolitana de Belém (PA). 3
Figura 2 - Fluxo do resíduo sólido (Retirado de: Cunha & Consoni, 1995). 15
Figura 3 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Modificado de Vasquez *et al.* 2008). 26
Figura 4 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Modificado de Oliveira *et al.* 2011). 27
Figura 5 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Modificado de Costa 2001). 29
Figura 6 - Fluxograma da metodologia adotada. 32
Figura 7 - Modelo ilustrativo do método de estabelecimento de pesos aos atributos e cruzamentos dos mapas (Modificado de Aguiar 1989). 34
Figura 8 - Exemplo de definição dos pesos e classes das unidades (Aguiar 1989). 34
Figura 9 - Mapas dos atributos utilizados na seleção de áreas preferenciais à instalação de aterros sanitários, com seus respectivos pesos. 38
Figura 10 - Mapas dos atributos utilizados na seleção de áreas preferenciais à instalação de cemitérios, com seus respectivos pesos. 42
Figura 11 - Mapa da evolução temporal da área urbana da Região Metropolitana de Belém (PA), de 1984 a 2017. 49
Figura 12 - Mapa de zoneamento do Parque Estadual do Utinga (Pará 2013). 55
Figura 13 - Mapa de Zoneamento do Refúgio de Vida Silvestre Metrópole Amazônia (Ia & Ideflor-Bio 2018). 56
Figura 14 - Mapa de áreas não classificadas pela análise de poços da RMB. 62
Figura 15 - Mapa de nível potenciométrico em três períodos na RMB. 63
Figura 16 - Mapa de nível potenciométrico mensal na RMB. 63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (Abnt 2004). 16

Tabela 2 - Classes de adequabilidade à localização de áreas preferenciais para instalação de aterro sanitário (Modificado de Abnt 1992, 1997, Brasil 2012, Costa 2001, Silva & Pinheiro 2010, Elk 2007). 35

Tabela 3 - Critérios para seleção de áreas preferenciais à instalação de cemitérios (Modificado de Brasil 2006, 2012). 39

Tabela 4 - Áreas ocupadas pela urbanização, em km², na Região Metropolitana de Belém (PA), de 1984 a 2017. 49

Tabela 5 - Intervalos da rosa dos ventos em graus. 66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ADA - Área Diretamente Afetada

AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Hierárquico Analítico)

AID - Área de Influência Direta

AII - Área de Influência Indireta

AM - Amazonas

APA - Área de Proteção Ambiental

APP - Área de Preservação Permanente

apud - Citado por

ASAs - Áreas de Segurança Aeroportuária

ATO - Arranjo Territorial Ótimo

Cd - Cádmio

cm - Centímetro(s)

CODEM - Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COSANPA - Companhia de Saneamento do Pará

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)

Cr - Cromo

Cu - Cobre

E - Leste

EESC - Escola de Engenharia de São Carlos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

et al. - E outros(as)

GIS - *Geographic Information System* (Sistema de Informação Geográfica)

IAEG - *International Association for Engineering Geology and the Environment* (Associação Internacional de Geologia de Engenharia)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Ideflor-bio - Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade

IFR - *Instrument Flight Rules* (Regras de Voo por Instrumentos)

IG - Instituto de Geociências

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

m - Metro(s)

Max - Máximo

MCDM - *Multiple Criteria Decision Analysis* (Análise de Decisão Multicritério)

Min - Mínimo

Mn - Manganês

N - Norte

NBR - Norma Brasileira

NE - Nordeste

NH4+ - Amônio

Ni - Níquel

NO - Noroeste

NW - Noroeste

O - Oeste

OCA - Órgão de Controle Ambiental

PA - Pará

Pb - Chumbo

pH - Potencial hidrogeniônico

RMB - Região Metropolitana de Belém

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

s - Segundo(s)

S - Sul

SE - Sudeste

SEMAS - Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SEMMA - Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SO - Sudoeste

SP - São Paulo

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica Radar Shuttle)

UC - Unidade de Conservação

UFPA - Universidade Federal do Pará

UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNESCO - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)

USP - Universidade de São Paulo

UTC - *Universal Time Coordinated* (Tempo Universal Coordenado)

ZAN - Zona do Ambiente Natural

ZEIA - Zonas Especiais de Interesse Ambiental

Zn - Zinco

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS iv
EPÍGRAFE v
RESUMO vi
ABSTRACT vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES viii
LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE ABREVIATURAS x
1 INTRODUÇÃO 1
1.1 OBJETIVOS 1
1.2 JUSTIFICATIVA 2
2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO 3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
3.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO 4
3.1.1 Histórico 4
3.1.2 Conceito 5
3.1.3 Metodologias 6
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E ATERROS SANITÁRIOS 14
3.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos 16
3.2.2 Contaminação 17
3.2.3 Seleção de Áreas Potenciais para Instalação 18
3.3 CEMITÉRIOS 22
3.3.1 Áreas de influência 23
3.3.2 Contaminação 23
3.3.3 Seleção de Áreas Potenciais para Instalação 24
3.4 GEOLOGIA 26
3.4.1 Geologia segundo a CPRM 26
3.4.2 Geologia segundo Costa (2001) 28
3.4.2.1 Formação Pirabas 29
3.4.2.2 Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras 29
3.4.2.3 Sedimentos Recentes 31
4 MATERIAL E METODOLOGIA 32
3.1 PRIMEIRA ETAPA 32
3.2 SEGUNDA ETAPA 33

3.3 TERCEIRA ETAPA....33
3.4 QUARTA ETAPA....33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO....43
5.1 CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE A) 44
5.2 CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE B)....45
5.3 MAPA DE ÁREA URBANA E EXPANSÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE C)....47
5.3.1 Área Urbana....47
5.3.2 Expansão Urbana....48
5.4 MAPA DE ÁREAS DE TERRA FIRME E VÁRZEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE D)....51
5.5 MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE E)....52
5.5.1 Áreas institucionais....53
5.5.2 Distritos Industriais....53
5.5.3 Áreas de Proteção Ambiental....54
5.5.4 Unidades de Conservação dispostas nos Planos Diretores Municipais....57
5.5.4.1 Plano Diretor do Município de Ananindeua....57
5.5.4.2 Plano Diretor do Município de Belém....58
5.5.4.3 Plano Diretor do Município de Benevides....60
5.5.4.4 Plano Diretor do Município de Marituba....60
5.5.4.5 Plano Diretor do Município de Santa Bárbara do Pará....60
5.5.5 Aeroportos....61
5.6 MAPA EQUIPOTENCIOMÉTRICO DO AQUÍFERO LIVRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE F)....61
5.7 MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE G)....64
5.8 MAPA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE H)....65
5.9 MAPA DE DIREÇÃO DO VENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE I)....65
6 CONCLUSÕES....68

REFERÊNCIAS 69
APÊNDICE 76
APÊNDICE A - (CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 77
APÊNDICE B - (CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 78
APÊNDICE C - (MAPA DE ÁREA URBANA E EXPANSÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 79
APÊNDICE D - (MAPA DE ÁREAS DE TERRA FIRME E DE VÁRZEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 80
APÊNDICE E - (MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 81
APÊNDICE F - (MAPA EQUIPOTENCIOMÉTRICO DO AQUÍFERO LIVRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:150.000) 82
APÊNDICE G - (MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 83
APÊNDICE H - (MAPA DE BACIAS MICROHIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000) 84
APÊNDICE I - (MAPA DE DIREÇÃO DO VENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:300.000) 85

1. INTRODUÇÃO

A investigação geológica e geotécnica do local de estudo é de fundamental importância, pois fornece subsídio para o melhor entendimento do contexto geológico no qual o projeto está inserido, além de facilitar a resolução de possíveis fatores problemáticos relacionados às condições geológicas e geotécnicas da área.

Segundo Zuquette & Gandolfi (2004), o mapeamento geotécnico consiste no levantamento, caracterização, classificação, avaliação e análise de propriedades do meio físico, considerando a variabilidade no que diz respeito à dinâmica entre os sistemas ambientais e a temporalidade, de forma que os dados obtidos possam ser utilizados em obras de engenharia, planejamento urbano, avaliação ambiental, entre outros. Dessa forma, o mapeamento geotécnico é uma ferramenta essencial para a otimização das decisões quanto à locação de cemitérios e aterros sanitários, pois reúne dados que, se observados em conjunto com as regulamentações e normas específicas, permitem determinar as áreas adequadas no sentido técnico, econômico, social e ambiental.

De forma a maximizar a porcentagem de disposição adequada dos resíduos sólidos e minimizar o índice de contaminação ambiental tanto por meio do descarte inadequado do lixo, quanto por mau planejamento de cemitérios, este trabalho propõe dois mapas que indicam locais preferenciais para suas construções.

1.1 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal fornecer subsídio a partir de informações geotécnicas para a definição do local mais apropriado para obras de engenharia como aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), contribuindo para o planejamento do desenvolvimento urbano das cidades estudadas.

Como objetivos específicos, são propostos:

- Elaborar mapa na escala 1:50.000 de áreas preferenciais à instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém;

- Elaborar mapa na escala 1:50.000 de áreas preferenciais à instalação de cemitérios na Região Metropolitana de Belém;

- Avaliar a consistência dos dados oficiais na elaboração de mapas geotécnicos;

- Adquirir conhecimentos relacionados à Geotecnia, em especial os procedimentos de elaboração de mapa geotécnico.

1.2 JUSTIFICATIVA

A problemática do descarte de resíduos sólidos é de escala mundial. No Brasil, segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015 (Abrelpe 2015), foram descartadas 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Cerca de 90,8% dos resíduos foram coletados e 58,7% destes foram dispostos adequadamente em aterros sanitários. Isto configurou um aumento em relação aos anos anteriores, porém ainda não é o suficiente; uma vez que aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos sólidos ainda são dispostos em lixões ou aterros controlados, que não apresentam características necessárias para controle efetivo de contaminações e degradação ambiental; 2.244 municípios brasileiros (41,3%) adotaram o aterro sanitário como mecanismo para disposição final do lixo. A região norte, entretanto, mostra apenas 97 municípios, dos 449 (Ibge 2010), representando 21,6%. No Pará, cerca de 27,7% dos resíduos sólidos foram destinados a aterros sanitários em 2014; em 2015, foram 28,2%. Isto indica que mais de 2/3 dos resíduos sólidos foram descartados de forma inadequada, comprometendo a saúde pública.

Em cemitérios, são dispostos materiais orgânicos e inorgânicos que, sem medidas apropriadas para contenção de seus produtos e sua influência sobre o ambiente, podem gerar contaminação ambiental e culminar em problemas de saúde pública. O material orgânico dos corpos, ao se decompor, gera odor desagradável e um líquido denominado necrochorume, que pode ser infiltrado na zona não-saturada do solo e chegar ao aquífero livre, os contaminando (Kemerich *et al.* 2014). Há também um processo que ocorre em solos com alta umidade – geralmente após chuvas –, chamado saponificação, no qual são quebradas as moléculas de gorduras corporais e ocorre a liberação de ácidos graxos. Isto resulta na inibição da ação de bactérias putrefativas, de forma que o processo de decomposição do cadáver é retardado e o tempo de contaminação do solo e água subterrânea é maior (Kemerich *et al.* 2012).

Principalmente devido à maior quantidade de pessoas residentes em áreas urbanas, há maior necessidade de espaço para construção de cemitérios e descarte de resíduos sólidos – isto é, em aterros sanitários, para que os seus produtos tenham menor impacto sobre o ambiente e sociedade. Entretanto, deve-se haver um estudo prévio para a escolha destes locais, uma vez que, os aspectos topográficos e geológicos influenciam na maximização do controle da contaminação gerada por resíduos sólidos e/ou orgânicos.

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é situada na porção norte-nordeste do Estado do Pará, conforme representado na figura 1. A RMB foi criada pela Lei Complementar Estadual n° 14 de 08 de junho de 1973 (Brasil 1973) e alterada pela Lei Complementar n° 27, de 19 de outubro de 1995 (Brasil 1995), abrangendo cinco municípios: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara. Sua área total é medida em 50.582,30 ha (aproximadamente 506 km²).

A área de estudo é limitada por um polígono definido em ambiente SIG, colocado entre as latitudes 01°00'00"S e 01°32'00"S e as longitudes 48°08'00"W e 48°38'00"W.

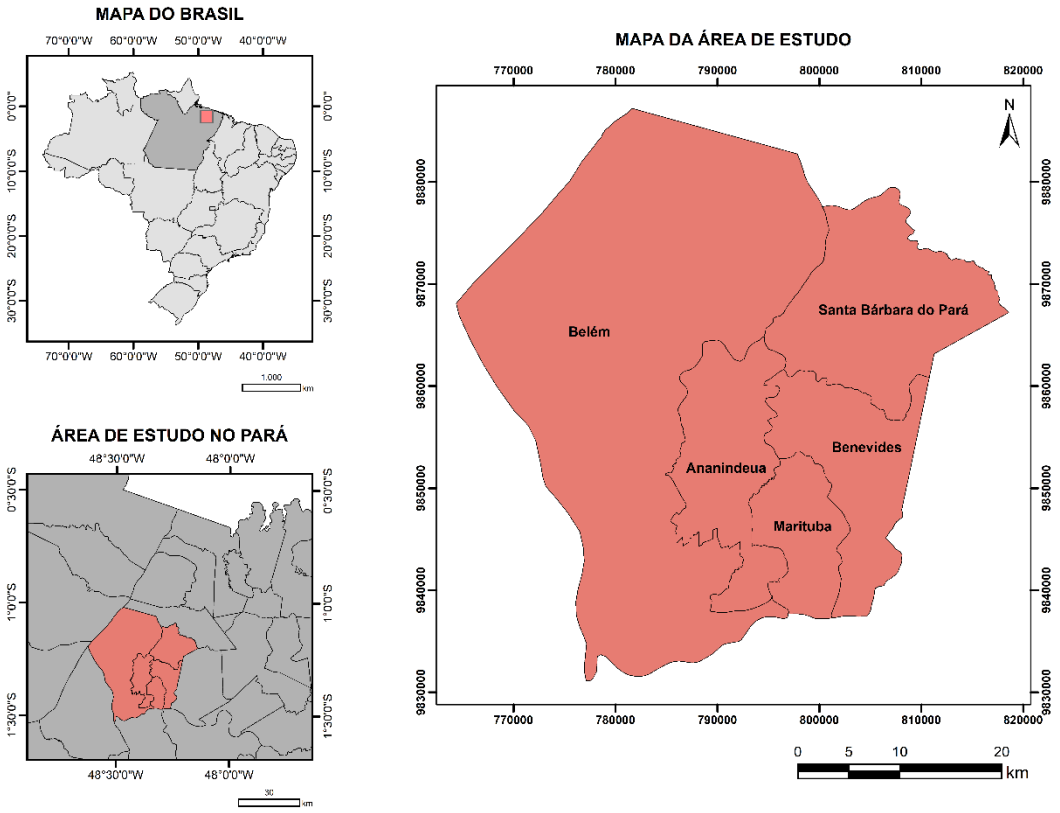

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, Região Metropolitana de Belém (PA).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ser humano tem a inteligência como uma das suas principais características diferenciadoras das demais espécies. Esta característica possibilita a modificação do meio; em primeiro momento, com o objetivo da sobrevivência; e posteriormente, para o bem-estar do indivíduo, podendo otimizar o tempo e força que as ações modificadoras demandam.

A compreensão do meio físico é importante para o planejamento de seu uso, de forma a maximizar o seu aproveitamento. Também é considerada a manutenção da oferta de recursos para as gerações seguintes, para que as mesmas condições de bem-estar sejam proporcionadas.

A confecção de mapas e cartas é essencial para entender as propriedades do espaço estudado. Conforme são adicionados atributos, sua complexidade cresce e mais específico é o documento, sendo seu uso geralmente direcionado a alguma aplicação em especial.

Neste trabalho, são abordados os fundamentos e metodologias do mapeamento geotécnico, de modo a aplicá-los na seleção de locais potenciais para instalação de aterros sanitários e cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), tendo em vista suas especificidades.

3.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

3.1.1 Histórico

O início da cartografia geotécnica remonta aos documentos gráficos apresentados por Langen em 1913, na Feira de Construções de Leipzig (Alemanha), que colaborou com o planejamento urbano das cidades como Erfurt e Dantzig com a representação de áreas inundáveis e a localização de pontos de extração de materiais para construção (Peter 1966 *apud* Zuquette & Nakazawa 1998).

O desenvolvimento das primeiras cartas geotécnicas data do início do século XX e tinha como objetivo o planejamento regional e urbano (Franco *et al.* 2010). Alguns métodos que foram marcantes no princípio dos estudos metodológicos sobre cartografia geotécnica foram citados por Zuquette & Nakazawa (1998), sendo: método de Moldenhawer, de 1919; método de Stremme-Ostendorff, de 1932; esquema de Muller, de 1938; método de Groschopf, de 1951; metodologia de Gwinner, de 1956; classificação de Benz, de 1951; sistema de Graupner; e método de Cadran, de 1956.

Após a II Guerra Mundial, houve intensificação dos estudos sobre cartografia geotécnica, visto que o desenvolvimento de metodologias e sistematização eram necessários para a otimização da reconstrução das cidades. (Non 1976 *apud* Franco *et al.* 2010).

3.1.2 Conceito

Zuquette & Gandolfi (2004), após análises de diferentes abordagens de conceitos e metodologias, chegaram a uma definição de mapeamento geotécnico: "um conjunto de ações voltadas à elaboração de mapas e cartas de conteúdo relativo a Geotecnia para fins decorrentes do conhecimento geotécnico". Assim, o objetivo de um mapeamento geotécnico é o levantamento, caracterização, classificação, avaliação e análise do meio físico, sendo a variabilidade de seus atributos adequadamente representada. Os dados obtidos devem ser tratados por meio de seleção, generalização, adição e transformação, de modo a serem relacionados e interpretados. Então, são gerados mapas, cartas e apêndices descritivos em acordo com a metodologia do mapeamento geotécnico, para fins de engenharia, planejamento, agronomia, saneamento, avaliações ambientais etc. Portanto, o mapeamento geotécnico é de significativa importância para diversas finalidades de ocupação do meio físico.

É importante salientar a diferença dos termos "mapa" e "carta", quando se tratando de documentos cartográficos. Um mapa representa os dados, sem interpretação, sobre algum aspecto específico sobre uma área de estudo. Uma carta, por outro lado, representa as intepretações e associações dos dados obtidos na área. A escala varia de acordo com a necessidade de detalhe dos dados e informações, determinada pela finalidade do documento.

O mapa geotécnico, ao passo que mostra as relações espaciais entre solos, rochas, água superficial e subterrânea, geomorfologia, geodinâmica e clima, reflete as condições geotécnicas. Dessa forma, faz-se possível prever a interação entre o ambiente e a obra, a partir da determinação da influência do meio físico (Costa 2001).

Em planejamentos de obras, por exemplo, devem ser considerados os aspectos preventivos e de otimização do espaço e do orçamento. Em mapas e cartas cuja finalidade é ambiental, também deverão ser apresentadas as variáveis temporais e dinâmicas inerentes aos processos atuantes na área de estudo (Zuquette & Gandolfi 2004).

3.1.3 Metodologias

3.1.3.1 Metodologia da IAEG

A IAEG (*International Association for Engineering Geology and the Environment* – Associação Internacional de Geologia de Engenharia) formou uma comissão, cujas atividades se iniciaram em 1968 no encontro geral da IAEG em Praga (República Checa), com o objetivo de regulamentar o mapeamento geotécnico, encontrando uma metodologia que se adequasse à maioria dos países de forma técnica e socioeconômica (Franco *et al.* 2010, Zuquette & Nakazawa 1998). Esta metodologia foi adotada pela UNESCO.

O primeiro relatório publicado pela comissão no Boletim n° 3 (Matula *et al.* 1970) especificou as condições de criação da comissão, bem como seus membros. O primeiro encontro do grupo ocorreu em 1970, no Congresso da IAEG, em Paris. As quatro metas da comissão eram:

a) Esclarecer a situação atual no mapeamento geotécnico (tratado como *"engineering geological mapping"*);

b) Analisar os diversos tipos de mapas denominados mapas geotécnicos ou mapas utilizados para planejamento urbano e construção;

c) Determinar as tendências para o futuro da cartografia geotécnica e apresentar recomendações gerais de que informações devem ser dadas por um mapa geotécnico complexo;

d) Contribuir para a troca de informação internacional no que tange este assunto.

Conforme Zuquette & Nakazawa (1998), os mapas são classificados segundo quatro principais critérios: finalidade, conteúdo, escala e litogênese.

Quanto à finalidade, o mapa pode ter finalidade especial, isto é, é destinado para situações específicas e mostra as propriedades necessárias para tal situação; ou ter multifinalidade e, assim, mostrar informações geotécnicas variadas.

Quanto ao conteúdo, o mapa pode ser analítico, ou seja, indica aspectos cuja finalidade é expressa no título; ou compreensivo, que analisa todos os aspectos possíveis do meio físico, sendo do tipo mapa de condições geotécnicas ou mapa de zoneamento geotécnico. O primeiro não tem preocupação de interpretar os dados apresentados, ao passo que o segundo interpreta e delimita áreas homogêneas.

Quanto à escala, o mapa pode apresentar grandes, intermediárias ou pequenas escalas, dependendo de seu objetivo. Quanto maior a escala, mais específica é a finalidade do mapa e vice-versa.

Quanto à litogênese, as cartas são classificadas segundo uma proposta taxonômica, sendo:

a) Tipo Geologia de Engenharia – escalas ≥1:5.000, com homogeneidade nas características litológicas e de alteração;
b) Tipo litológico – escalas entre 1:5.000 e 1:10.000, com uniformidade nas estruturas, texturas e composições, e heterogeneidade na alteração;
c) Complexo litológico – escalas entre 1:10.000 e 1:200.000, com unidades formadas por tipos litológicos de gênese relacionada e desenvolvidos sob condições geotectônicas e paleogeográficas específicas;
d) Suíte litológica – escalas ≤ 1:200.000, cujas unidades associam complexos litológicos de condições tectônicas e paleogeográficas similares.

A metodologia utiliza de técnicas como a fotogeologia, geofísica, sondagens, amostragens, ensaios in situ e laboratoriais para elaborar mapas que mostram a distribuição das rochas e solos, bem como os fenômenos geológicos associados, de forma a indicar seus impactos sobre obras de engenharia em diferentes terrenos (Costa 2001).

3.1.3.2 Sistemática de Mathewson e Font

Proposta por Mathewson & Font (1973 *apud* Costa 2001), a metodologia analisa criticamente os métodos utilizados para confecção de cartas geotécnicas nos EUA e objetiva ordenar os dados para fins de planejamento e uso do solo. Parte-se dos princípios de que a Geologia de Engenharia deve estabelecer critérios adequados para determinado uso do solo e deve reportar seus resultados à sociedade.

O planejamento consiste primeiramente na definição das metas e objetivos do estudo. A meta fundamental da geologia é proporcionar a saúde, bem-estar e segurança da população, a protegendo de possíveis danos causados por processos geológicos. Os objetivos são passos específicos que levarão à conclusão da meta. Eles podem incluir: mapeamento e definição de áreas nas quais as condições de solo, rocha e água sejam incompatíveis com uma urbanização segura; localização, avaliação e identificação de áreas de recursos valiosos; localização, teste e avaliação de áreas seguras e higiênicas para deposição de detritos. Podem haver restrições ou oportunidades, que culminam em dificuldades ou facilidades para o processo de planejamento urbano. São divididos em duas classes: abastecimento – incluindo mão de obra, recursos

naturais e orçamentários – e estrutural – composta pelas estruturas físicas, socioeconômicas e políticas (Costa 2001, Aguiar 1997).

Os mapas são classificados em quatro tipos (Aguiar 1997, Costa 2001, Reis 2001):

a) Mapas de observação (1ª ordem) – mostram dados de topografia, litologia, tectônica e estrutural, solos agrícolas e drenagem superficial. Cada fator deve ser considerado e ter sua influência na comunidade determinada;

b) Mapas de engenharia (2ª ordem) – mostram dados como a capacidade de infiltração, corrosividade, classificação de solos para fins de engenharia, resistência à compressão simples, estabilidade de taludes e dificuldades de escavação. Cada parâmetro considera um problema básico, que pode vir a ser significante localmente;

c) Mapas interpretativos (3ª ordem) – mostram dados de adequabilidade para diversos fins, como instalações subterrâneas, disposição de rejeitos, ocupação urbana e construção pesada, além de potencialidade de riscos geológicos;

d) Mapas de planejamento (4ª ordem) – mostram recomendações para o uso do solo com base na combinação dos dados anteriores.

3.1.3.3 Metodologia Francesa

Elaborada por Sanejouand (1972 *apud* Zuquette & Nakazawa 1998), (Costa 2001, Aguiar 1997) a partir de levantamento e análise de principalmente mapeamentos realizados na França, a metodologia objetivou determinar um padrão de cartografia geotécnica no país.

Foram considerados na elaboração das cartas geotécnicas: geologia, geomorfologia, hidrogeologia, geodinâmica externa e interna, materiais naturais e modificações antrópicas do meio físico.

Sua classificação pode ter dois principais critérios: escala ou conteúdo e forma. A classificação por escala mostra três categorias: 1:5.000 a 1:10.000 – estudo de solos para plano de ocupação de solos –, 1:10.000 a 1:25.000 – estudo de solos para planejamento urbano – e 1:50.000 a 1:100.000 – estudo de solos para áreas metropolitanas.

A classificação por conteúdo e forma diz respeito a cartas analíticas/de fatores ou a cartas sintéticas/de aptidão. Cartas analíticas podem ser normais – estabelecidas no desenvolvimento do estudo e frequentemente a base de cartas sintéticas – ou especiais – elaboradas a partir do tratamento de cartas normais, para fins específicos. Cartas sintéticas delimitam zonas homólogas para determinados fins, que podem ser unicamente horizontais ou horizontais e verticais.

3.1.3.4 Metodologia Australiana (PUCE)

O programa PUCE (*Pattern, Unity, Component, and Evaluation*) foi desenvolvido por Stewart (1968), Woloshin (1968), Mitchell (1973), Grant (1975), Ollier (1977), Grant & Finlayson (1978) e Finlayson (1982), conforme citado por Aguiar (1997), Costa (2001) e Zuquette & Nakazawa (1998).

A metodologia pretendeu sistematizar a coleta e tratamento de dados geológico-geotécnicos nos diferentes estágios de obras civis, além de viabilizar o armazenamento de dados para a posterioridade. Seus critérios levam em consideração principalmente a geomorfologia do terreno, o classificando segundo a topografia, natureza e estrutura do material, erosão, vegetação e uso do solo. Delimitam-se classes obrigatoriamente homogêneas em sua extensão e constituição, sendo estas organizadas hierarquicamente.

Uma vez que o tratamento das informações coletadas se dá em sistemas computacionais, os dados devem ser compatíveis com os mesmos. Sua nomenclatura deve ser numérica e os números devem representar os parâmetros da classe.

3.1.3.5 Metodologia da EESC-USP

A metodologia segue os trabalhos de Zuquette (1987 *apud* Zuquette & Nakazawa 1998), (Costa 2001, Aguiar 1997) e Zuquette (1993). Seu objetivo é utilizar técnicas simples, de baixo custo e objetivas em mapeamentos de diversas escalas – em especial entre 1:10.000 e 1:50.000, destinadas ao planejamento urbano.

Segundo Zuquette (1993), o mapeamento geotécnico deve seguir seis princípios gerais:

a) Deve-se visar a máxima simplicidade possível, de modo a facilitar o entendimento. Recomenda-se limitar o número de atributos considerados, respeitar a finalidade desejada e apresentar informações por meios de comunicações;

b) O mapa geotécnico não é atemporal, mas está sujeito a mudanças ao longo do tempo e deve ser alterado periodicamente. Entretanto, todos os dados utilizados como base devem ser arquivados para possíveis consultas;

c) Seu uso não deve substituir o reconhecimento local; sendo, portanto, apenas um auxiliar ou indicativo para a escolha adequada de uma dada figura de reconhecimento;

d) Tendo o princípio anterior em vista, o analista deve identificar os dados inconsistentes e verificar a validade de sua extrapolação, além de avaliar as limitações e precisão dos resultados;

e) Observar se o trabalho é direcionado a usuário específico e situações particulares ou a vários usuários e quando estes selecionarão os atributos desejados;

f) Levando-se em consideração o princípio anterior, determinar se há a exigência de análise criteriosa dos atributos a serem mapeados – analisando principalmente sua validade, limite de investigação e precisão dos dados no intervalo estipulado.

Os documentos podem ser classificados quanto a finalidade ou escala. As escalas podem ser: geral/básica – menor que 1:100.000 –, regional – entre 1:100.000 e 1:25.000 – e semidetalhe/detalhe – entre 1:25.000 e 1:2.000.

O processo de elaboração de um mapa geotécnico conta com diversas fases, sendo:

a) identificação do problema a ser investigado e definição de uma hipótese de trabalho preliminar, com definição dos atributos a serem analisados;

b) elaboração da teoria por meio das hipóteses indutivas. Delimita-se a área de estudo em unidades de propriedades homogêneas e relações conhecidas;

c) comprovação por meio de ensaios da validade das unidades definidas.

São determinadas quatro classes de documentos utilizados nesta metodologia: mapas básicos fundamentais, mapas básicos opcionais, mapas auxiliares e cartas derivadas ou interpretativas.

Os mapas básicos fundamentais representam o meio físico e podem ser: mapa topográfico, mapa geológico – substrato rochoso e materiais inconsolidados – e mapa das águas.

Os mapas básicos opcionais incluem: mapa pedológico, mapa geomorfológico, mapa morfológico/morfométrico/de declividade, mapa climático, mapa de ocupação urbana e expansão.

Os mapas auxiliares têm como exemplo o mapa de documentação/dados, que consiste numa representação dos pontos de coleta de dados qualitativos ou quantitativos e suas respectivas fontes.

As cartas derivadas ou interpretativas são geradas a partir da interpretação sobre os mapas, direcionando-se a uma ou mais finalidades e para uso direto da sociedade. Exemplos são as cartas: para Fundações, para Escavabilidade, de Potencial de Movimento de Massa, de Potencial à Erosão, de Disposição de Resíduos, para Estradas, entre outras.

Trabalhos que aplicaram esta metodologia englobam quatro principais etapas, sendo: levantamento e sistematização dos dados; definição dos atributos a serem analisados; efetuação de ensaios e elaboração de mapas; elaboração da carta e suas conclusões. Alguns exemplos de aplicação são:

Aguiar (1989), que utilizou sobreposição subjetiva dos atributos analisados, com soma e recálculo dos pesos das unidades resultantes. Abreu (2007), que aplicou um método misto, com influências da EESC-USP e do IPT.

3.1.3.6 Metodologia do IG-SP

Desenvolvida pelo Instituto Geológico (IG) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, a metodologia tem como objetivo a elaboração de diretrizes e recomendações para o uso e ocupação do solo, mitigação de impactos e conflitos culminantes da ocupação inadequada e orientação dos poderes públicos para planejamento urbano (Costa 2001).

Quatro etapas constituem o método, sendo:

a) Inventário – levantamento de dados e caracterização do meio físico com a confecção de mapas básicos indicando seus parâmetros e análise espacial do uso e ocupação do solo;

b) Diagnóstico – elaboração de mapas interpretativos e mapas de síntese;

c) Prognóstico – conjunto de recomendações e diretrizes com vistas a auxiliar no planejamento da ocupação e modificação do meio físico, bem como atuar na resolução de conflitos existentes;

d) Divulgação – socialização dos resultados à comunidade e adoção de esforços para sua utilização.

3.1.3.7 Metodologia do IPT

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT desenvolveu esta metodologia de modo a atuar de forma rápida e objetiva em problemáticas frequentes em diversas cidades do Brasil (Prandini *et al.* 1991 *apud* Costa 2001), Zuquette & Nakazawa (1998).

Para esta metodologia, as cartas geotécnicas correspondem às expressões práticas do conhecimento geológico com vistas a gerenciar problemas devido ao uso e ocupação do solo. Por isso, devem prever as interações entre o meio físico e a ocupação, assim como os conflitos gerados por esta relação. Também se objetiva minimizar riscos e perdas financeiras por meio de medidas preventivas e mitigadoras.

As cartas são classificadas em: cartas geotécnicas – mostram limitações e potencialidades das áreas, indicando as possíveis formas de ocupação –, cartas de risco – preponderam a avaliação de dano potencial à ocupação frente a uma ou mais propriedades de fenômenos naturais ou antrópicos –, cartas de susceptibilidade – indicam a probabilidade de ocorrência de fenômenos naturais ou antrópicos –, e cartas de atributos ou parâmetros –

apresentam somente a distribuição espacial de atributos de interesse, sendo estes geológicos ou geotécnicos.

O método consiste em cinco etapas, que geral seus respectivos documentos (Ipt 1994 *apud* Zuquette & Nakazawa 1998), Costa (2001):

a) Levantamento preliminar – identificação da problemática e compilação de dados. Gera o mapa preliminar;

b) Investigação orientada – análise e identificação dos condicionantes, com seu mapeamento em escala apropriada, além da caracterização do uso do solo. Gera os mapas temáticos dirigidos;

c) Compartimentação final – avaliação dos fatores mapeados e delimitação de áreas de mesmas propriedades. Gera as unidades geotécnicas;

d) Estabelecimento das medidas de controle – pesquisa e proposição de medidas de prevenção e correção. Gera as diretrizes para o uso do solo.

e) Representação – elaboração da Carta Geotécnica, de moda a representar os resultados em linguagem clara e de simples entendimento por parte do público interessado.

3.1.3.8 Metodologia do IG-UFRJ

A metodologia foi sistematizada por Barroso *et al*. (1986, 1987, 1993 *apud* Zuquette & Nakazawa 1998, Costa 2001). Foram desenvolvidos trabalhos relacionados a movimentos de massa e ocupação na cidade do Rio de Janeiro e proximidades em escalas de 1:50.000 até maiores que 1:10.000. Nas cartas elaboradas, as unidades geológicas são associadas a suas características geotécnicas, fontes potenciais de exploração de materiais naturais de construção e propriedades que limitam a ocupação do solo – diretamente ligadas à topografia.

3.1.3.9 Metodologia de Costa (2001)

Costa (2001) estabelece critérios metodológicos baseados nas metodologias citadas anteriormente e nas condições socioeconômicas e decorrentes do meio físico da área de estudo – o trópico úmido, representado pela Região Metropolitana de Belém. O trabalho consistiu em três etapas: pré-campo, campo e pós campo.

Na etapa de pré-campo, fez-se a revisão bibliográfica sobre os aspectos do meio físico, planos diretores municipais e estudos relacionados com a área de estudo que foram julgados de uso potencial para o mapeamento. Contemporaneamente, fez-se fotoanálise e fotointerpretação de fotografias aéreas, além de sistematização de 290 relatórios de sondagens de simples reconhecimento e 172 relatórios de poços tubulares. Realizou-se também a digitalização do

mapa base e elaboração dos mapas, na escala de 1:50.000, de: Declividade, Áreas Urbanizadas, Áreas Institucionais e Unidades de Conservação e Faixas de Proteção Permanente dos Corpos D'água.

A fase de campo consistiu na elaboração de perfis geológico-geotécnicos e amostragem – amostras deformadas e amostras com anel de parede fina. Foram definidas as unidades geológicas e de materiais inconsolidados.

A fase pós-campo incluiu os ensaios laboratoriais de caracterização do solo, além do trabalho de escritório. Este consistiu na poligonização e rasterização dos dados produzidos e digitalizados, de modo a permitir a análise e modelamento. Os mapas de prognóstico corresponderam à Carta de Materiais Naturais de Construção Civil e Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários. Sua elaboração foi possível a partir da interseção de atributos que excluem a atividade.

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E ATERROS SANITÁRIOS

A NBR 10004 (Abnt 2004) define os resíduos sólidos como: "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 d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível".

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil 2010), ainda acrescenta gases ao conceito de resíduos sólidos, conforme citado: "(...) 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".

A problemática do grande volume de resíduos sólidos gerados pela sociedade é crescente. Ela é relacionada com a industrialização, urbanização e crescimento populacional que, por sua vez, culminam no aumento da dinâmica da urbanização, dos níveis de prosperidade, de produção e consumo – diretamente ligados com o acréscimo na quantidade de resíduos gerados (Salhofer *et al.* 2008).

A gestão dos resíduos sólidos se torna progressivamente mais complicada não apenas pela quantidade gerada, mas pela natureza dos resíduos. Isto é, há uma mudança geral na complexidade dos produtos com o passar das décadas devido ao desenvolvimento industrial. (Salhofer *et al.* 2008). Desta forma, pode ser difícil lidar com tipos de materiais cujos impactos – a curto ou longo prazo – não sejam totalmente conhecidos.

Segundo Bove & Lungui (2006 *apud* Barros 2013), a solução para a redução da carga ambiental resultante do descarte de resíduos sólidos é a abordagem conjunta de prevenção da geração de RSU e gestão integrada dos mesmos.

O diagrama abaixo (figura 2) é relacionado com o gerenciamento dos resíduos sólidos, com vistas a otimizar a sua destinação. Parte-se do princípio de que o “primeiro passo” a ser seguido é a redução na produção total dos resíduos sólidos. Estes podem ter origem em diversas fontes: domésticas, industriais, hospitalares, entre outras. O “segundo passo” é fazer uma seleção, de modo a identificar o que pode ser reutilizado ou reciclado. O restante seria coletado e transportado, para tratamento – isto é, processos de separação, compostagem ou incineração, os quais podem direcionar os resíduos para a reciclagem ou aterros. Por fim, os resíduos sólidos

que não podem ser descartados de outra forma – o que, em situação ideal, indicaria apenas pequena parcela do total de resíduos sólidos gerado –, devem ser encaminhados para disposição em aterros industriais, sanitários ou de inertes.

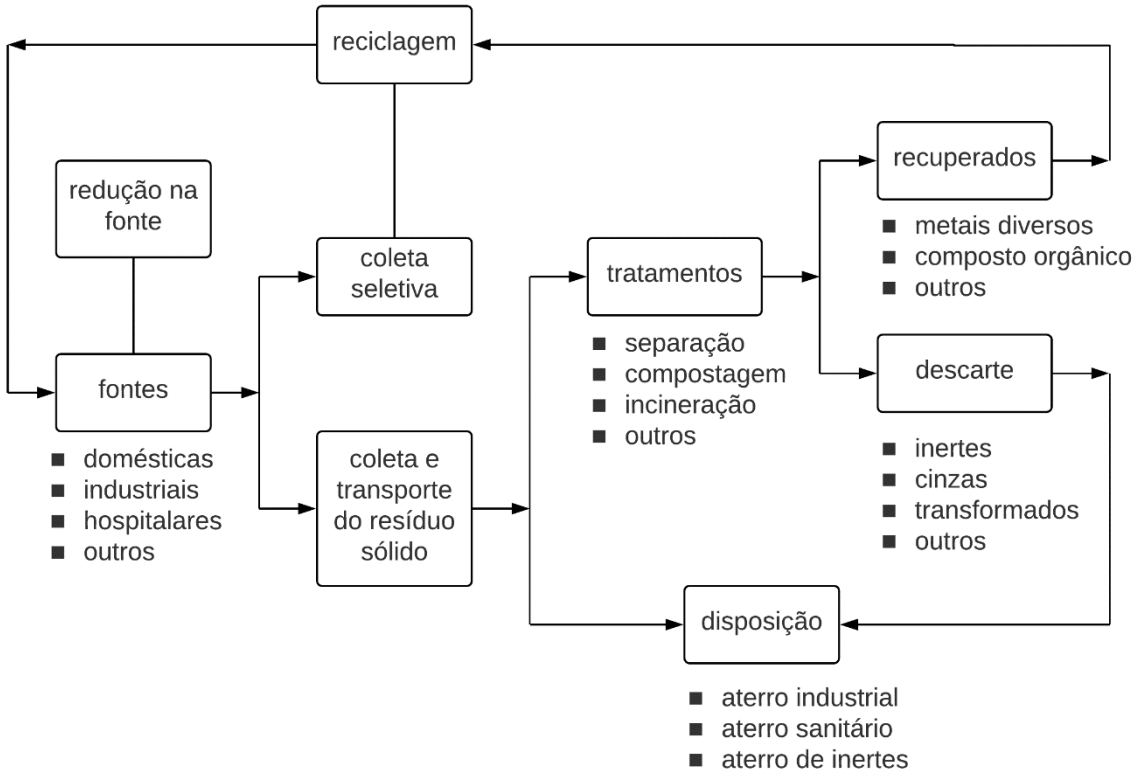

Figura 2 - Fluxo do resíduo sólido (Retirado de: Cunha & Consoni 1995).

Segundo a NBR 8419 (Abnt 1992), que regula a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, o aterro sanitário consiste em "técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário".

As principais questões da Geologia de Engenharia no que tange à disposição de resíduos sólidos são: análise da migração de contaminantes e garantia da estabilidade dos locais escolhidos para disposição dos resíduos (Tressoldi & Consoni 1998). Ambas estão diretamente ligadas com a seleção de áreas preferenciais para instalação de aterros sanitários, uma vez que os parâmetros utilizados levam em consideração as características geológico-geotécnicas para maximização da estabilidade e minimização da contaminação.

3.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são classificados quanto à periculosidade (tabela 1) conforme determinado pela ABNT (2004) na NBR 10004, a qual subdivide os resíduos em três categorias, que controlam as especificidades de coleta, armazenamento, transporte e disposição dos mesmos.

Tabela 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR 10004 (ABNT 2004).

CATEGORIA	CARACTERÍSTICAS
Classe I (Perigosos)	Mostram uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Apresentam, portanto, risco à saúde pública ou ao meio ambiente.
Classe II (Não-Inertes)	Não se enquadram como Classe I ou Classe III e podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
Classe III (Inertes)	Não mostram solubilização de seus constituintes a concentrações superiores aos padrões de potabilidade – quando submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, em temperatura ambiente –, com exceção de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A classe do resíduo sólido depende, dentre vários fatores, de sua origem. Segundo Cunha & Consoni (1995), aterros sanitários geralmente são o local de disposição final de resíduos:

a) Domiciliares – originados em residências e comércio, podendo ainda ser de pequenas indústrias;
b) Públicos – originados a partir da limpeza pública, com a varrição, poda, limpeza de praias etc.;
c) Industriais – originados em indústrias, têm sua disposição determinada pela periculosidade. Há geração de resíduos de classe I e II, que são dispostos em aterro de resíduos industriais. Com autorização do órgão ambiental responsável, pode haver codisposição dos resíduos de classe II em aterro sanitário.

Os demais resíduos são destinados a aterros de resíduos industriais, aterros de inertes, aterros de resíduos perigosos ou disposição em corpos d'água, além de tratamentos para posterior descarte ou recuperação – reutilização e/ou reciclagem.

3.2.2 Contaminação

Um dos problemas mais frequentes no que tange à inadequação da instalação ou falha no monitoramento de aterros sanitários é a contaminação dos corpos d'água – superficiais e/ou subterrâneos. Segundo Cunha & Consoni (1995), a origem da contaminação pode se dar por meio de três principais formas: falha na impermeabilização de base do aterro ou da lagoa de tratamento de chorume, ocorrência de recalques no aterro ou na lagoa de tratamento de chorume e elevação do nível d'água acima da base do aterro.

Os contaminantes caracterizam plumas de contaminação, cuja concentração varia de acordo com o tempo, espaço e condições hidrogeológicas locais. Se os contaminantes migram em zona não saturada, seu fluxo depende da força da gravidade e da forma dos poros – sendo, portanto, majoritariamente no sentido vertical em direção ao aumento da profundidade. Se, por outro lado, a zona na qual os contaminantes estão localizados é saturada, o fluxo é controlado pelo gradiente hidráulico e a pluma de contaminação pode tomar grandes proporções (Tressoldi & Consoni 1998).

Em meios homogêneos, o transporte dos contaminantes se dá por dois principais processos: advecção e dispersão hidrodinâmica. A advecção é dependente do fluxo da água subterrânea. Ela estabelece que a velocidade e direção do transporte dos contaminantes são iguais à velocidade e à direção de fluxo médias da água subterrânea. Considerando uma situação na qual o meio é isotrópico, o fluxo da água subterrânea seria perpendicular às linhas equipotenciais. Entretanto, em meio anisotrópico, o fluxo pode ser alterado pela relação entre as condutividades hidráulicas principais – sendo a direção de fluxo, portanto, mais próxima da direção de maior condutividade hidráulica. A dispersão hidrodinâmica consiste na tendência de espalhamento do contaminante devido à heterogeneidade das condições de condutividade hidráulica do meio (Tressoldi & Consoni 1998).

Em meios heterogêneos, o padrão de migração do contaminante torna-se complexo. Por isso, faz-se necessária uma boa caracterização hidrogeológica da área, para melhor entendimento da migração e dispersão da contaminação.

Segundo Tressoldi & Consoni (1998), contaminantes orgânicos e multifásicos mostram comportamento diferenciado de acordo com o meio. Em zona não-saturada, podem ser atenuados por biodegradação e volatilização. A sorção – isto é, separação das fases líquida e sólida do contaminante – ocorre com maior facilidade em presença de coloides orgânicos e menor com exposição a minerais argilosos. A fase sólida é retida nos poros e sujeita à lixiviação por tempo variável. Em zona saturada, há tendência de preservação dos contaminantes

orgânicos e estes geralmente se mostram em níveis superiores aos permitidos pela legislação ambiental.

Santos *et al.* (2006) estudaram águas coletadas no rio Tarumã (AM) e afluentes. Identificou-se alterações consideráveis nos teores de NH_4^+, Ni, Pb, Cu e Zn em comparação às águas da região. Além disso, verificou-se aumento do pH, condutividade, dureza e alcalinidade. Estas mudanças foram relacionadas com a contaminação provocada pela ação conjunta do aterro sanitário e esgotos domésticos nas proximidades dos corpos d'água.

Morales (2002) estudou amostras de água dos rios Santo Antonio e Santana de Aurá, além do igarapé Juruca. Constatou-se variação de pH, condutividade, alcalinidade, amônia, nitrato, cloreto, sódio, cálcio, magnésio e potássio - parâmetros traçadores de chorume. Portanto, concluiu-se que o chorume produzido no "lixão do Aurá" tem contaminado corpos d'água superficiais. Além disso, devido à ausência de camada impermeável, é possível também a percolação do chorume da área até a zona saturada. Também se observou alteração na qualidade do solo, que apresentou maior teor de metais pesados, como Cd, Cr, Cu, Mn e Zn.

Os estudos de caso citados acima indicam as mudanças na química e física das proximidades de aterros sanitários ineficientes na contenção de seus contaminantes, levando a poluição ambiental e prejuízo à saúde pública.

3.2.3 Seleção de Áreas Potenciais para Instalação

Abediniangerabi & Kamalirad (2016), em seu trabalho sobre localização de aterros sanitários na Região Metropolitana de Teerã com utilização de MCDM (*Multiple Criteria Decision Analysis* – Análise de Decisão Multicritério), utilizam de AHP (*Analytic Hierarchy Process* – Processo Hierárquico Analítico) e SIG para selecionar áreas apropriadas segundo suas propriedades. Critérios utilizados tiveram caráter econômico – posse de terras, valor dos terrenos, proximidade com os centros produtivos de resíduos e proximidade de subestruturas como linhas de energia, sistemas de água e estradas –, ambiental – uso do solo, hidrogeologia, geologia e meteorologia – e sociocultural – proximidade a patrimônios culturais, visão pública e aeroportos. Foram utilizados os métodos de combinação de mapas e lógica booleana para remover as áreas com restrições. Concluiu-se que as metodologias foram eficientes para elaboração de mapa, recomendado para uso governamental com vistas a reduzir impactos ambientais.

FELICORI *et al.* (2016) utilizaram ferramentas de SIG e análise multicritério para localizar áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, em Minas Gerais. Com a combinação de mapas

representando áreas aptas e inaptas tendo em vista oito diferentes critérios – hidrografia, sistema viário, declividade, núcleos populacionais, APPs de topo de morro, aeroportos, unidades de conservação e limite ATO (arranjo territorial ótimo) –, foi possível geral um mapa final de áreas adequadas. Os autores destacam que este mapa é preliminar e as áreas devem ser confirmadas in situ quanto a fatores como dificuldade de acesso, presença de mata nativa, uso e ocupação de solo, fluxo de água subterrânea e permeabilidade de solo.

Os artigos citados acima reiteram a efetividade da utilização de análise multicritério em ambiente SIG como meios para a definição de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários, tendo em vista os diversos parâmetros envolvidos e impedimentos para uma operação segura.

Os aterros sanitários devem ser planejados de forma que seja alcançado um equilíbrio entre os aspectos sociais, os impactos ambientais e o custo do empreendimento (Tressoldi & Consoni 1998). A identificação de áreas adequadas é um processo complexo e multidisciplinar que requer considerações ambientais, ecológicas, sociais, econômicas e técnicas (Gbanie *et al.* 2012). Isto é, todas as etapas relacionadas à instalação deste tipo de obra de engenharia devem priorizar minimizar ou evitar os possíveis riscos ao meio ambiente e saúde pública, levando em consideração as pressões sociais que podem ser geradas, bem como o orçamento envolvido.

Uma das etapas do processo de planejamento de um aterro sanitário é a seleção de áreas para sua construção, podendo esta ser dividida em três: levantamento de dados gerais, pré-seleção e viabilização dos locais. O levantamento de dados gerais consiste na caracterização qualitativa e quantitativa dos resíduos, caracterização do sistema de gerenciamento dos resíduos e definição da vida útil pretendida, assim como a área necessária para a construção do aterro. A pré-seleção corresponde aos estudos preliminares, tendo em vista os aspectos físicos e legislativos que podem interferir na adequabilidade da localização do aterro sanitário. A viabilização dos locais, por sua vez, conta com estudo detalhado sobre as áreas homogêneas priorizadas (Vilhena 2018).

A NBR 8419 (ABNT 1992) estabelece como critérios básicos para a seleção do local destinado ao aterro sanitário: zoneamento ambiental, zoneamento urbano, acessos, vizinhança, economia de transporte, titulação da área escolhida, economia operacional do aterro sanitário, infraestrutura urbana e bacia e sub-bacia hidrográfica.

A NBR 13896 (ABNT 1997), que trata de aterros de resíduos não perigosos, estabelece como critérios básicos: minimização do impacto ambiental a ser causado, maximização da aceitação pela população, zoneamento da região, possibilidade de uso por longo espaço de

tempo – necessitando de um mínimo de obras para início da operação. Além disso, destaca as considerações técnicas sobre:

a) Topografia – declividade entre 1% e 30%;

b) Geologia e tipos de solos existentes – relacionados com a capacidade de depuração do solo e velocidade de infiltração. Recomenda-se depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e zona não saturada de espessura superior a 3 m;

c) Recursos hídricos – distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água;

d) Vegetação – relacionada com os aspectos de redução da erosão, da formação de poeira e transporte de odores;

e) Acessos;

f) Tamanho disponível e vida útil – vida útil mínima de 10 anos;

g) Custos;

h) Distância mínima a núcleos populacionais – distância superior a 500 m.

Os itens c e h podem ser alterados a critério do OCA (Órgão de Controle Ambiental).

Obrigatoriamente, o aterro deve ser construído em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo, com predominância de material com coeficiente de permeabilidade inferior a 5 x 10-5 cm/s no subsolo. No local de instalação, deve haver uma camada natural de, no mínimo, 1,5 m de solo insaturado entre a superfície inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático. E o aterro não pode ser construído em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos (ABNT 1997).

O Código Florestal Brasileiro – Lei Federal n° 12.651, de 25 de maio de 2012 – (Brasil 2012) estabelece como áreas de preservação permanente as faixas marginais mínimas de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, de:

a) Cursos d'água de < 10 m de largura – 30 metros;

b) Cursos d'água de 10-50 m de largura – 50 metros;

c) Cursos d'água de 50-200 m de largura – 100 metros;

d) Cursos d'água de 200-600 m de largura – 200 metros;

e) Cursos d'água de > 600 m de largura – 500 metros.

Áreas de entorno de lagos e lagoas naturais devem ter faixa de área de proteção permanente de 100 metros de largura. Corpos d'água com até 20 hectares de superfície devem ter faixa marginal de 50 metros e corpos em zonas urbanas devem ter de 30 metros.

Costa *et al.* (2002) adotaram como critérios de seleção de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários a não localização em área de várzea, área institucional e área de proteção permanente, além de estar a uma distância mínima de 500 m da área urbana ou de expansão urbana.

3.3 CEMITÉRIOS

Segundo Leli *et al.* (2012), o termo "cemitério" advém da palavra grega "*koumeterian*", que significa "onde eu durmo". Apenas após a popularização do Cristianismo, seu significado foi alterado para o local de enterro dos cadáveres; sendo, portanto, o local de descanso eterno.

Durante a Idade Média, o sepultamento feito de forma simplificada – isto é, recobrimento de solo em profundidades entre 1 e 2 metros – culminou no aumento do índice de doenças como o tifo e a peste negra (Silva & Malagutti Filho 2008). No final do século XVII, foram tomadas medidas sanitárias responsáveis pela mudança no processo de sepultamento, de forma que estes começaram a ser feitos em áreas abertas e distantes do perímetro urbano. Atualmente, com a expansão urbana, estes cemitérios se encontram próximos à área ocupada (Leli *et al.* 2012).

Segundo Campos (2007), os cemitérios podem variar quanto ao seu tipo e à forma de sepultamento. Os tipos de cemitérios podem ser: tradicional, parque/jardim ou vertical. O cemitério tradicional mostra alamedas pavimentadas, com quase nenhuma arborização e túmulos semienterrados, mausoléus – normalmente revestidos por mármores e granitos – com diversos adornos. O cemitério parque ou jardim não mostra construções tumulares, sendo o sepultamento em carneiros – “gavetas no solo” – cobertos por grama e árvores. O cemitério vertical proporciona que as sepulturas não entrem em contato direto com o solo; os cadáveres são armazenados em gavetas, distribuídas no prédio em diversos andares. Cada sepultura é monitorada e possui tubo de ventilação, responsável por expulsar os gases. O necrochorume gerado é seco por circulação do ar e polimerização.

As formas de sepultamento incluem a inumação e a tumulação (Campos 2007). A tumulação utiliza carneiros lacrados – "gavetas" de alvenaria ou concreto de formato retangular – construídos parcial ou totalmente subterrâneos, sendo sua profundidade máxima de 5 metros. A inumação é comum em cemitérios periféricos e interioranos, consistindo em:

a) enterrar o cadáver em cova aberta e aterrada a profundidades de 1,1 a 1,5 metros;

b) colocar o cadáver na superfície, sendo este coberto por terra ou pedras;

c) depositar o corpo em cavidade ou caixa resguardada adequadamente.

Os cemitérios estão intrinsecamente relacionados com a cultura e valores das sociedades e, portanto, sua existência não é dispensável. Entretanto, conflitos e impactos podem ser gerados devido a inadequações, sob diversos pontos de vista, de projeto, instalação e gerenciamento destas obras.

3.3.1 Áreas de influência

Segundo a Resolução CONAMA 01/86, as áreas de influência de uma obra correspondem ao espaço geográfico no qual o seu impacto pode ocorrer de forma direta ou indireta. De acordo com Leli *et al.* (2012), estas áreas são classificadas em licenciamentos ambientais de cemitérios da seguinte forma:

a) Área Diretamente Afetada (ADA) – corresponde ao local de intervenção direta, sendo a própria área do empreendimento e seus componentes;

b) Área de Influência Direta (AID) – somatório da ADA com uma faixa de 200 m que a circunda ou, em meio antrópico, o(s) bairro(s) que utiliza(m) o cemitério. Durante sua delimitação em área urbana, devem ser consideradas as possíveis mudanças na economia local nos arredores da implantação do cemitério, bem como as principais vias de acesso – devido ao aumento de circulação;

c) Área de Influência Indireta (AII) – consiste em todas as áreas passíveis de serem alteradas positiva ou negativamente pelo empreendimento. Pode ser delimitada pela bacia hidrográfica na qual a obra está localizada ou, em meio antrópico, pelo município.

3.3.2 Contaminação

A contaminação advinda dos cemitérios é majoritariamente consequente do contato do meio com o líquido gerado pelos cadáveres em decomposição, o necrochorume. Este resíduo é uma solução aquosa (60% de água) rica em sais (30%) e substâncias orgânicas degradáveis (10%). Ele mostra cor castanho-acinzentada, viscosidade maior que a da água densidade média de 1,23 $g.cm^{-3}$, pH entre 5 e 9, odor forte, grau variado de toxicidade e patogenicidade e forte tendência à polimerização (Born *et al.* 2014, Campos 2007).

O necrochorume é formado pela ação de enzimas microbianas ao decompor os tecidos do corpo, desde o período coliquativo – após a morte –, podendo durar cerca de seis a oito meses, a depender das condições ambientais. Cada corpo decomposto libera aproximadamente 30 a 40 litros de necrochorume (Campos 2007).

São liberados gases "funerários", correspondentes ao gás sulfídrico (H_2S), ao dióxido de carbono (CO_2), às mercaptanas, ao gás metano (CH_4), à amônia (NH_3) e ao fosfina (PH_3), além de óxidos metálicos de Ti, Cr, Cd, Pb, Ge, Mn, Hg, Ni e outros por lixiviação. Também é identificado o aumento na concentração de compostos de N e P e sais (Cl^-, HCO_3, Ca^{+2} e Na^+), o que resulta no aumento da condutividade elétrica, pH, alcalinidade e dureza da solução no solo (Silva & Malagutti Filho 2008). Estudos geoquímicos identificam aumento nas

concentrações de nitrato, coliformes fecais, bactérias e compostos nitrogenados nas proximidades de cemitérios em diferentes regiões (Martins *et al.* 1991, Matos 2001, Marinho 1998 *apud* Sousa *et al.* 2015).

Observam-se também fenômenos conservativos, que são diretamente relacionados com o meio no qual os corpos são sepultados, podendo resultar em mumificação e saponificação. A mumificação desseca e desidrata os tecidos em condições de alta temperatura, clima seco e com correntes de ar. Solos arenosos em áreas desérticas e solos calcários são propícios para este fenômeno (Pacheco & Matos 2000 *apud* Silva & Malagutti Filho 2008). A saponificação ocorre em alta temperatura, mas em presença de bactérias endógenas, sob condições úmidas e anaeróbicas, em solos argilosos com baixa condutividade hidráulica e alta capacidade de troca catiônica (Silva 1995 *apud* Silva & Malagutti Filho 2008). Ela corresponde à hidrólise da gordura, liberando ácidos graxos que inibem a ação das bactérias putrefativas (Matos 2001).

Estima-se que quase todos os cemitérios municipais brasileiros mostram algum problema ambiental ou sanitário (Abas 2001 *apud* Sousa *et al.* 2015).

Segundo Braz *et al.* (2000), as características geofísico-geológicas do terreno no qual o cemitério do Benguí (Belém - PA) foi implantado favorecem a passagem de bactérias para o solo e águas subterrâneas. Além disso, o alto índice pluviométrico se mostra como fator contribuinte para a presença de bactérias nas águas superficiais. A umidade e alto nível freático favorecem a saponificação dos cadáveres.

O cemitério de Santa Izabel, também localizado em Belém, está fora dos padrões da ABNT. Ele mostra grande potencial de contaminação das águas subterrâneas devido a vazamentos de necrochorume (Figueiredo *et al.* 2004).

3.3.3 Seleção de Áreas Potenciais para Instalação

A implantação e operação de cemitérios no território brasileiro são reguladas pelas resoluções CONAMA n° 335/2003, n° 368/2006 e n° 402/2008. Todos os cemitérios, sejam estes horizontais ou verticais, devem passar pelo processo de licenciamento ambiental.

Segundo a Resolução CONAMA n°368/2006, na fase de Licença Prévia do licenciamento ambiental, são necessários os documentos de caracterização da área na qual será implantado o empreendimento e plano de implantação e operação do empreendimento. Os documentos de caracterização compreendem: localização tecnicamente identificada no município, com indicação de acessos, sistema viário, ocupação e benfeitorias no seu entorno; levantamento planialtimétrico e cadastral com mapeamento de restrições contidas na legislação

ambiental; estudo do nível máximo do aquífero livre (lençol freático) ao final da estação de maior precipitação pluviométrica; sondagem mecânica para caracterização do subsolo.

Para cemitérios horizontais, especifica-se na Resolução CONAMA n°368/2006, que o nível inferior das sepulturas deve ter uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias e, caso esta exigência não possa ser atendida nos terrenos selecionados, devem ser feitos sepultamentos acima do nível natural do terreno. A área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério; e a partir de caracterização hidrogeológica da área, pode-se julgar necessário ampliar este recuo. Deve-se apresentar documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei e efetuar estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 hectares. Além disso, devem ser adotadas técnicas e práticas que criem condições adequadas à decomposição dos corpos por meio da permissão de troca gasosa; excetuando-se casos específicos previstos na legislação.

São excluídas da seleção de áreas potenciais para instalação de cemitérios:

a) Áreas de Preservação Permanente, incluindo Áreas de Proteção Ambiental (APA's), faixa de proteção de Unidades de Conservação de Uso Integral, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Monumento Natural;

b) Áreas que exijam desmatamento de Mata Atlântica primária ou secundária, em estágio médio ou avançado de regeneração;

c) Terrenos predominantemente cársticos, com presença de cavernas, sumidouros ou rios subterrâneos;

d) Áreas de uso restrito pela legislação vigente, ressalvadas as exceções legais previstas.

3.4 GEOLOGIA

A Região Metropolitana de Belém está inserida no contexto tectônico das Plataformas do Pará e Bragantina, que são porções do embasamento que permaneceram tectonicamente estáveis entre as bacias sedimentares de São Luís, Cametá e Bragança-Vizeu (Rossetti 2006). Sua estratigrafia mostra quatro principais unidades: Formação Pirabas, Formação Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Recente.

3.4.1 Geologia segundo a CPRM

A região correspondente a Belém é mapeada pela CPRM na escala de 1:100.000 nos trabalhos de Vasquez *et al.* (2008) e Oliveira *et al.* (2011). O primeiro corresponde ao mapeamento geológico do estado do Pará e o segundo, à folha Belém (SA.22-X-D-III).

Vasquez *et al.* (2008) apresenta três unidades (figura 3) que são, da base para o topo: Grupo Barreiras, Sedimentos Pós-Barreiras e Depósitos Aluvionares.

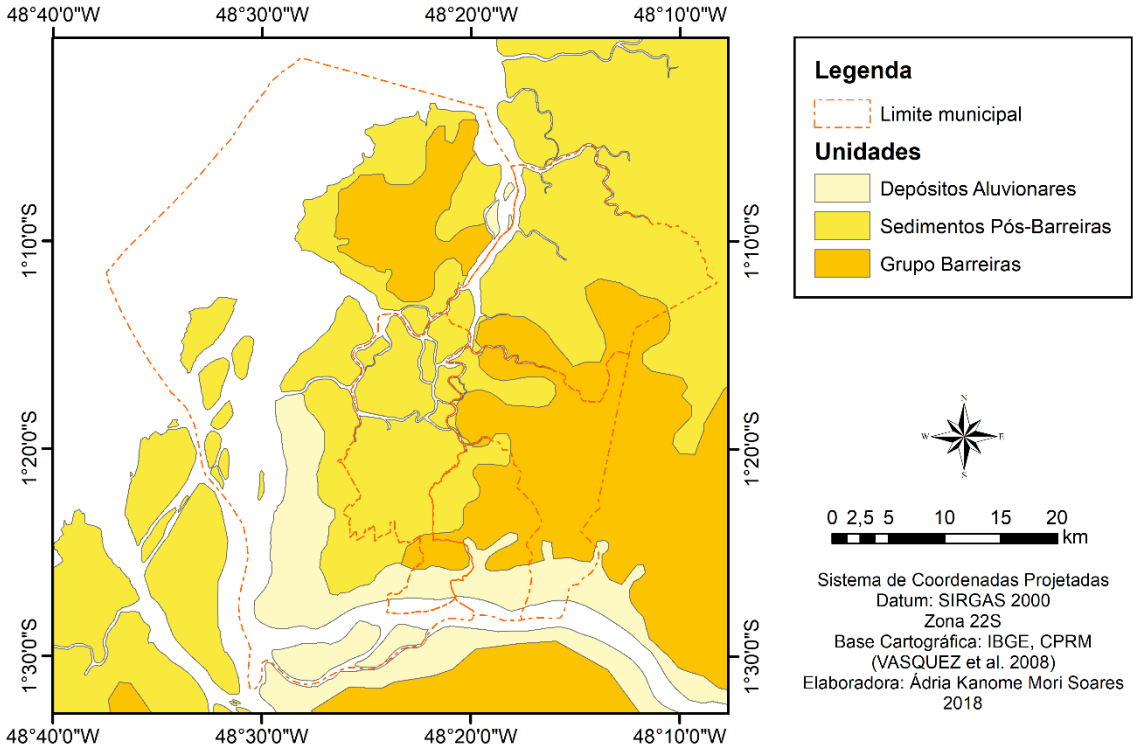

Figura 3 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Modificado de Vasquez *et al.* 2008).

O Grupo Barreiras, neste trabalho, abrange a Formação Pirabas e a Formação/Grupo Barreiras. Caracteriza-se por uma variedade de fácies carbonáticas, mistas carbonático-siliciclásticas – da Formação Pirabas e Grupo Barreiras Inferior, mostrando biocalcirruditos,

margas, calcilutitos e brohermitos – e siliciclásticas – do Grupo Barreiras Médio a Superior, com presença de argilitos, arenitos e conglomerados.

Os Sedimentos Pós-Barreiras são caracterizados como areias argilosas, friáveis a semiconsolidadas, finas a médias, amareladas a esbranquiçadas de ambiente eólico, cordão litorâneo e planície de maré.

Os Depósitos Aluvionares são identificados como depósitos fluviais recentes de areias, pelitos e cascalhos.

Oliveira *et al.* (2011) apresenta três unidades (figura 4) sendo, da base para o topo: Unidade Barreiras, sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos; Depósitos Aluviais, Eólicos e Lateríticos; e Depósitos Argilosos Flúvio-marinhos.

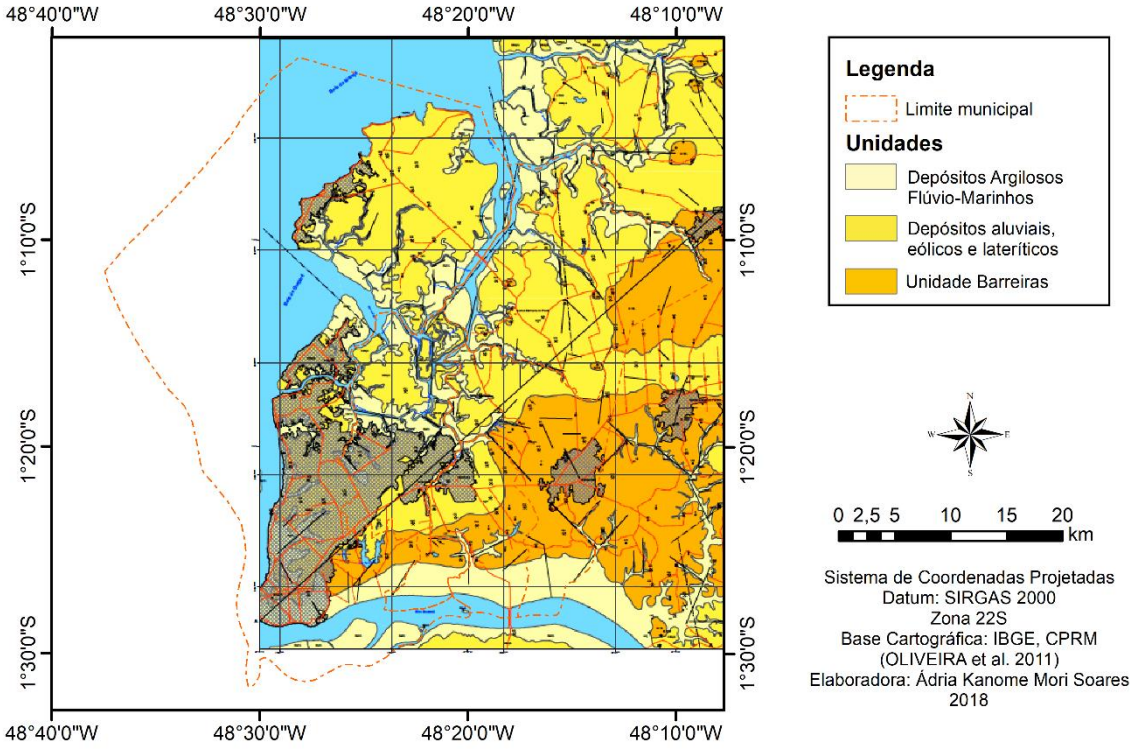

Figura 4 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém (Modificado de Oliveira *et al.* 2011).

A Unidade Barreiras, sedimentos argilosos, arenosos e conglomeráticos mostra: a) pelitos maciços ou laminados com presença de restos vegetais e icnofósseis de ambiente estuarino e planície de maré; b) arenitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados ferruginosos – por vezes, com icnofósseis – de ambiente fluvial e estuarino; c) sedimentos areno-argilosos, arenosos a areno-conglomeráticos friáveis associados a sistema fluvial; d) associação de ritmitos de planície de maré, com suas estruturas características – *wavy* e *linsen* – e icnofósseis, e canal de maré.

Os Depósitos Aluviais, eólicos e lateríticos, também identificados como Unidade Sedimentos Pós-Barreiras, mostram sedimentos siliciclásticos de cor amarela associados com sedimentos predominantemente quartzosos e esbranquiçados. Rossetti, Góes & Souza (2001 *apud* Oliveira *et al.* 2011) atribuíram idade pliocênica ou mais recente à unidade e identificaram variabilidade faciológica que inclui depósitos eólicos, depósitos de cordão litorâneo, planície de maré, canal e mangue.

Os Depósitos Argilosos Flúvio-marinhos mostram sedimentos lamosos, síltico-argilosos com fragmentos vegetais, impregnação de matéria orgânica fina e camada de turfa. Associam-se com as planícies flúvio-marinhas.

3.4.2 Geologia segundo Costa (2001)

Parte da área de estudo – correspondente aos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, com exceção das ilhas do Cumbu, do Murutucu, Grande, Porticarvônia, Negra, dos Patos, do Fortinho, da Barra, do Cruzador, Longa, Jararaquinha, Urubuoca, Mirim, de Paquetá, de Jutuba, Nova e de Cutijuba – foi mapeada por Costa (2001), na escala de 1:50.000. Neste trabalho, mostra três unidades aflorantes, sendo coberturas superficiais cenozoicas. Consistem, da base para o topo, em: Sedimentos Pós-Barreiras, Sedimentos Barreiras e Sedimentos Recentes. Destaca-se, também, a Formação Pirabas (base da estratigrafia descrita). Esta, porém, não é mapeável. As unidades podem ser observadas no mapa a seguir (figura 5).

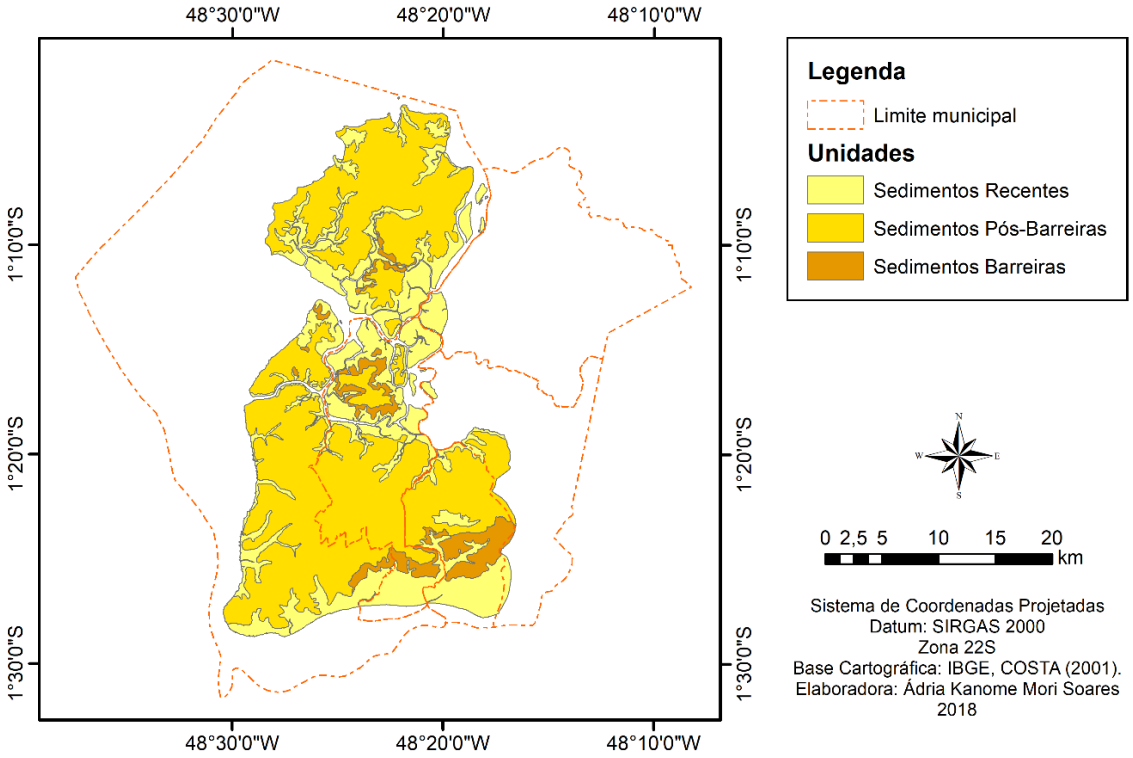

Figura 5 - Mapa geológico da Região Metropolitana de Belém. Fonte: Modificado de (Costa 2001).

3.4.2.1 Formação Pirabas

De profundidade variante entre 80 e 135 metros e espessura superior a 370 metros, a unidade apresenta intercalações de calcários estratificados ou não, margas e folhelhos verdes, cinzas e brancos.

A Formação Pirabas é datada do Mioceno/Oligoceno, sendo sua origem relacionada a mecanismos alóctones (Rossetti & Góes 2004) e em ambiente de plataforma carbonática marinha rasa, com registros de estratificação *hummocky*, evidenciando a ação de ondas de tempestade (Góes *et al.* 1990). Ainda há observação de formação secundária em lagunas e mangues (Góes *et al.* 1990), em clima quente e úmido.

3.4.2.2 Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras

Ocorre em profundidade entre 0 e 70 metros, sendo sua espessura variante entre 80 e 135 metros. A unidade é dividida, da base para o topo, em: Sequências de arenitos e pelitos, Horizonte Argiloso – de 1 a 8 metros de espessura –, Horizonte Ferruginoso – de 0,5 a 5 metros de espessura – e Horizonte de "solo" – de 0 a 4 metros de espessura.

As sequências de arenitos e pelitos são formadas por sedimentos siliciclásticos, sendo argilitos e arenitos comumente ferruginizados, com estratificações.

O Horizonte Argiloso apresenta as fácies: Argilito Maciço, Argilitos e Argila Mosqueada. A Fácies Argilito Maciço é composta por argilas brancas – caulinita e algum quartzo. A Fácies Argilitos é formada por argilas – caulinita e pouco quartzo, além de goethita e hematita como minerais acessórios – de cor branca e manchas avermelhadas, sendo finamente laminadas. A Fácies Argila Mosqueada compreende sequências essencialmente formadas por caulinitas e algum quartzo, com lentes centimétricas de areia. Também apresenta manchas irregulares de tons vermelhos e amarelos, justificadas pela presença de goethita e hematita. No seu contato com o Horizonte Ferruginoso, mostra-se endurecida devido à hematita.

O Horizonte Ferruginoso mostra as fácies: Arenoso Ferruginizado, Arenito Ferruginoso, Areno Argilosa e Concrecionário. A Fácies Arenoso Ferruginizado apresenta sequências essencialmente arenosas, sendo mais de 80% de areia, ferruginizadas – com coloração amarelada-avermelhada. Pode ocorrer também na base da fácies Concrecionário ou em contato direto com o Horizonte de Solo, sendo separados por linha de seixos. A Fácies Arenito Ferruginoso é formada por matriz areno-argilosa a areno-siltosa que envolve blocos centimétricos a métricos de arenito ferruginoso de cor preta. Sua ocorrência é irregular e restrita; geralmente é encontrada abaixo da fácies Concrecionário, fazendo contato inferior com o Horizonte Argiloso. A Fácies Areno Argilosa mostra areia argilosas maciças de cor avermelhada. É uma variação lateral da fácies Concrecionário, ocorrendo no mesmo nível topográfico desta. A Fácies Concrecionário é constituída por matriz areno-argilosa a areno-siltosa que envolve concreções lateríticas irregulares de cor amarela ou vermelha.

O Horizonte de "solo" mostra as fácies Arenosa Branca e Silto-arenosa a Argilo-arenosa, se localizando sobre a linha de pedras ou de seixos sobre os Sedimentos Pós-Barreiras/Barreiras. A Fácies Arenosa Branca apresenta mais de 95% de areia branca oriundas da podzolização da fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa, sendo conhecida popularmente como covão. A Fácies Silto-arenosa a Argilo-arenosa mostra-se incoesa de cor cinza-amarelada a amarela, podendo ser bioturbada. Apresenta grãos milimétricos a centimétricos de concreções lateríticas, além de quartzo leitoso e ágata como seixos. É composta mineralogicamente por quartzo, caulinita, Al-goethita e hematita.

Sua gênese remonta ao Mioceno, no caso das intercalações, e ao Pleistoceno, no que se refere aos horizontes argiloso e ferruginoso. Sua deposição ocorreu primeiramente em ambiente marinho regressivo, cobrindo ou se interdigitando aos sedimentos da Formação Pirabas e, posteriormente, em planície de maré. Observa-se deposição tardia em ambiente continental, de características em parte de deposição rápida em frente de dissipação de enxurradas e outros como depósitos de canal fluvial (Rossetti 2006, Pará & Ibge 1995 *apud* Costa 2001). O topo da

unidade foi submetido a processos de lateritização no início do Quaternário, o que proporcionou a homogeneização da sequência e gerando as lateritas imaturas.

3.4.2.3 Sedimentos Recentes

Observam-se na superfície, com espessuras entre 0 a 70 metros. São correspondentes ao horizonte de solo, relacionado aos principais cursos d'água. Associam-se a depósitos de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas orgânicas ou não, intercaladas com camadas ou lentes arenosas em vários locais. A partir de ensaios, se identificou que os materiais finos mostram altos teores de umidade, e que há elevado índice de vazios, baixa resistência ao cisalhamento e alta compressibilidade.

4. MATERIAL E METODOLOGIA

O mapeamento geotécnico executado, neste trabalho, segue os critérios metodológicos propostos por Costa *et al.* (2002) e Costa (2001), o qual analisa criticamente metodologias de mapeamento geotécnico da IAEG, de Mathewson e Font, francesa, australiana, da EESC-USP, do IG-SP, do IPT e do IG-UFRJ, de forma a possibilitar o estabelecimento de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido. Este mostra a aplicação das diretrizes propostas na Região Metropolitana de Belém (RMB), em escala 1:50.000.

As etapas do trabalho, bem como os suas principais ações e produtos, são representadas no fluxograma (figura 6) a seguir:

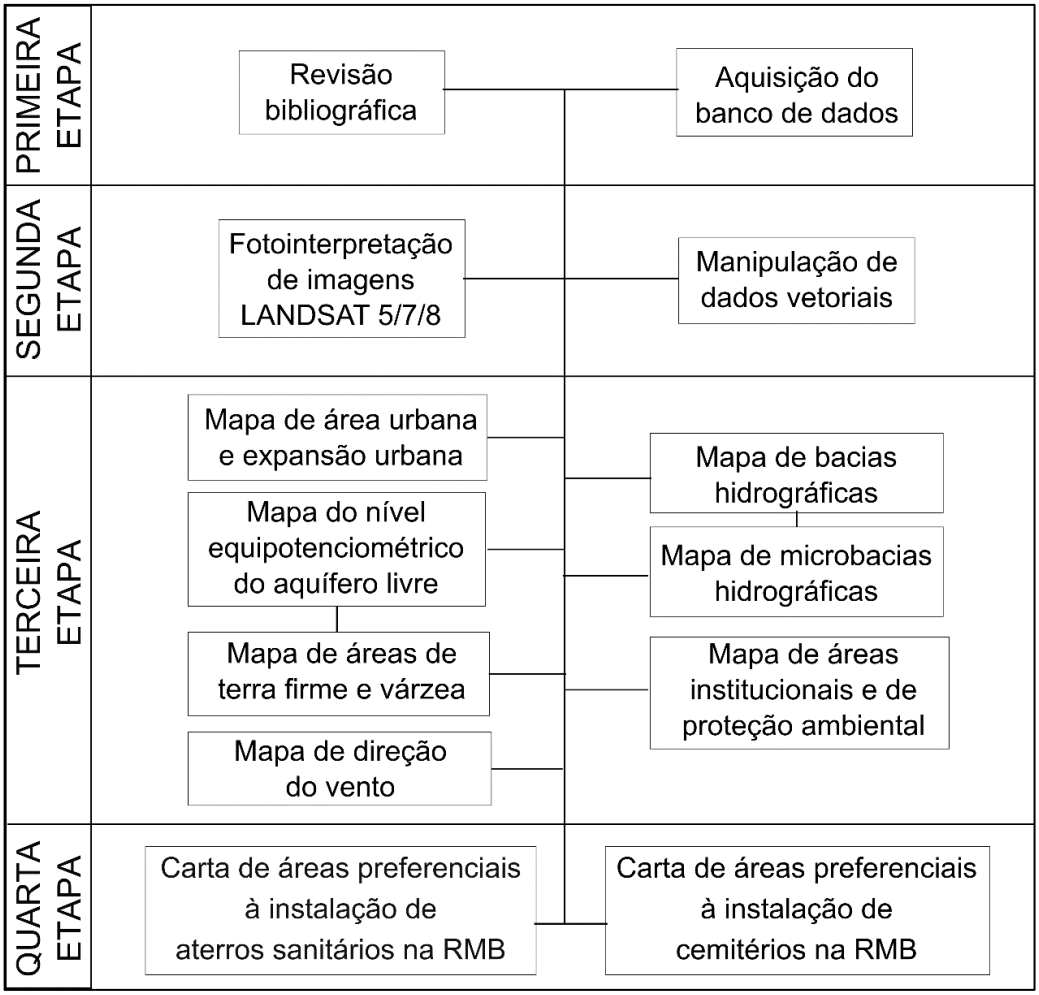

Figura 6 - Fluxograma da metodologia adotada.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

Consiste na revisão bibliográfica, que permitiu a composição de um conjunto de dados relacionados à geologia, topografia, pedologia, geomorfologia, clima, vegetação e hidrografia

da área de estudo, além de planos diretores municipais, normatizações, leis ambientais, contaminação orgânica, reportagens e estudos sobre a mapeamento geotécnico, RMB, aterros sanitários e cemitérios. Também foram reunidos mapas temáticos, produtos de sensoriamento remoto, imagens de satélite e dados vetoriais para o banco de dados em ambiente SIG.

3.2 SEGUNDA ETAPA

Esta envolve a fotointerpretação de imagens de satélite LANDSAT e imagens de radar da missão SRTM (ambas com resolução de 30 m) e manipulação de dados vetoriais nos aplicativos ArcMap 10.4, ArcCatalog 10.4, QGIS 2.18 e Global Mapper 15. São utilizados como apoio cartográfico os mapas disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) – Geologia e Recursos Minerais do Pará, Folha Belém SA-22-X-D-III –, pelo IBGE, pela SEMAS e mapas online do Google, Bing e World Imagery do *software* ArcGIS.

3.3 TERCEIRA ETAPA

A terceira etapa corresponde à confecção de mapas temáticos primários da RMB, em escala 1:50.000, sendo: mapa de área urbana e expansão urbana, mapa de áreas de terra firme e de várzea, mapa de áreas institucionais, mapa equipotenciométrico do aquífero livre, mapa de bacias hidrográficas, mapa de microbacias hidrográficas, mapa de direção do vento.

3.4 QUARTA ETAPA

Consiste na interpretação dos dados contidos na literatura em conjunto com os mapas temáticos produzidos previamente, com fins a definir as áreas preferenciais à instalação de cemitérios e aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém e, assim, elaborar duas cartas na escala de 1:50.000 – sendo uma para cemitérios e uma para aterros sanitários.

A metodologia de álgebra cartográfica segue a proposta de Aguiar (1989), ilustrada na figura 7.

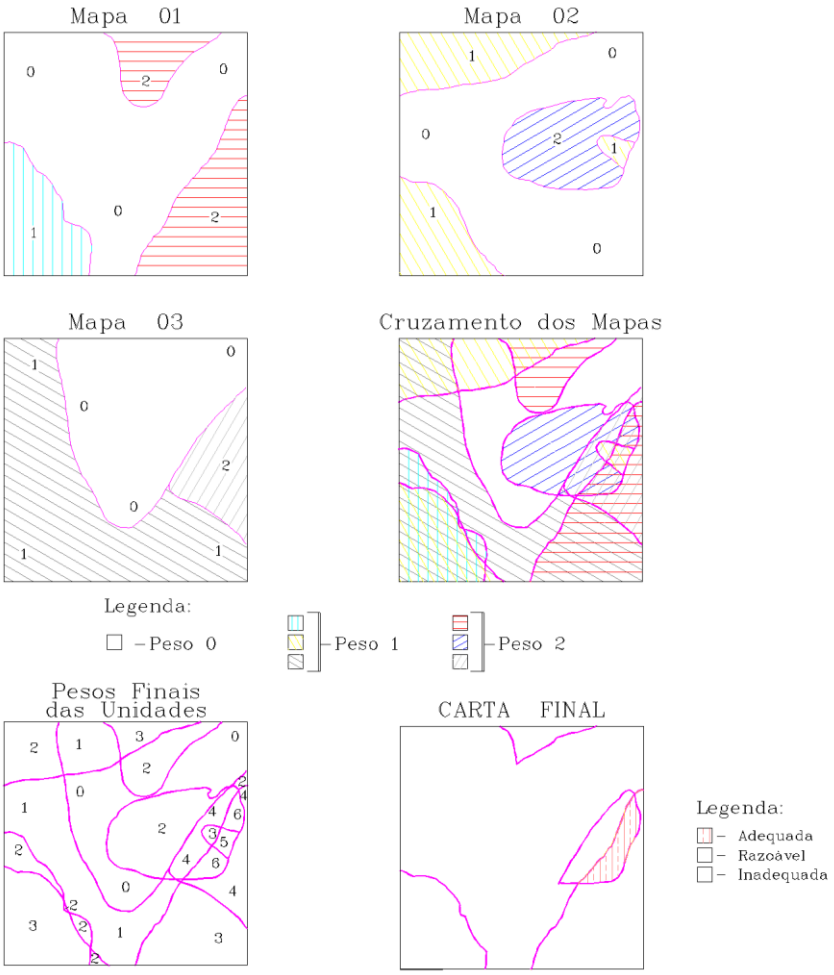

Figura 7 - Modelo ilustrativo do método de estabelecimento de pesos aos atributos e cruzamentos dos mapas (Modificado de Aguiar 1989).

Há sobreposição dos mapas de diferentes atributos e pesos (mapas 1, 2 e 3), gerando um cruzamento dos mapas e um mapa de pesos finais (somatória dos pesos sobrepostos). Por fim, os pesos são recalculados a partir da fórmula representada na figura 8, gerando a carta final.

$$P_t = \sum_{J=1}^{N} P_{AJ} \; / P_{AJ\ MAX} \quad x \; N$$

P_t = Peso Total da Unidade
P_{AJ} = Peso do Atributo J
$P_{AJ\ MAX}$ = Peso Máximo do Atributo J
N = Número de Atributos

$\sum_{J=1}^{N} P_{AJ}$	0	1	2	3	4	5	6
P_t	0,00	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83	1,00

P_t	0,00		0,35		0,70		1,00
Classes		Inadequada		Razoável		Adequada	

Figura 8 - Exemplo de definição dos pesos e classes das unidades (Aguiar 1989).

Para a Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários, foram seguidos os critérios apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Classes de adequabilidade à localização de áreas preferenciais para instalação de aterro sanitário (Modificado de Abnt 1992, 1997, Brasil 2012, Costa 2001, Silva & Pinheiro 2010, Elk 2007).

ATRIBUTOS FUNDAMENTAIS	**CLASSES DE ADEQUABILIDADE**		
	ADEQUADO (Recomendado)	**RAZOÁVEL (Recomendado com restrições)**	**INADEQUADO (Não recomendado)**
Distância de núcleos habitacionais e áreas de expansão urbana	Maior que 500m	Menor que 500m	
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições		Unidades de conservação ou de uso restrito
Distância do gerador	Entre 10 e 20km*		Maior que 20km*
Distância de estradas	100 a 500m	50 a 100m e 500 a 1000m	0 a 50m e superior a 1000m
Áreas de proteção ambiental / Áreas Institucionais / Territórios quilombolas	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Espessura do material inconsolidado	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Áreas de várzea	Distante		Próximo
Distância de cursos d'água	30m a 500m (a depender da largura do curso d'água)	Menor que 200m, com aprovação do órgão ambiental responsável	Menor que 200m
Distância de lagos	30m (em áreas urbanas) ou 50m a 100m (em áreas rurais)		Inferior a 30m
Profundidade do nível d'água	Superior a 10m	Entre 5 e 10m	Inferior a 5m
Localização na bacia hidrográfica	Próximo a cursos d'água de maior ordem		À montante das nascentes
Direção dos ventos	Área urbana fora do eixo de ventos predominantes		Área urbana no eixo de ventos predominantes

***** critérios aplicáveis a aterros de resíduos classe II

As áreas urbanas e de expansão urbana, além de faixa de 500 metros em seus entornos, foram excluídas das áreas adequadas, uma vez que os impactos gerados por aterros sanitários seriam incompatíveis com locais ocupados intensamente. Observou-se também a localização da área urbana em relação ao eixo de ventos predominantes da região, de modo a evitar a propagação de mau odor sobre áreas de ocupação. Levou-se em consideração os planos diretores dos municípios englobados por este estudo, afim de respeitar os zoneamentos urbano e ambiental. Estes critérios são relacionados com a aceitação popular e de entidades, tendo em vista que a localização inadequada deste tipo de empreendimento – potencial gerador de poluição visual, do ar, do solo e da água – seria um motivador de insatisfações e manifestações por parte da população afetada.

As distâncias do gerador e de estradas dizem respeito ao acesso e custos de transporte dos resíduos sólidos, sendo importantes na ponderação da adequabilidade econômica do empreendimento.

É vetada a localização de aterros sanitários em áreas de proteção ambiental (APAs), unidades de conservação ambiental e territórios quilombolas, uma vez que estas áreas são destinadas à preservação ambiental e/ou cultural. Áreas institucionais são descartadas, devido ao seu uso consolidado.

Também se consideram inadequadas à instalação de aterros sanitários as faixas marginais de cursos d'água, lagos e lagoas naturais, conforme instituído pelo Código Florestal Brasileiro (Brasil 2012). Áreas de várzea são incompatíveis, devido à dinâmica acelerada, inundações periódicas e pouca estabilidade dos solos para as atividades propostas. Áreas que apresentam profundidade do nível d'água inferior a 5m são desconsideradas para o fim deste trabalho, uma vez que representam risco de contaminação do aquífero. Áreas a montante de cursos d'água e aquíferos superficiais são descartadas, pois o potencial de contaminação seria aumentado, uma vez que o potencial de autodepuração é minimizado.

Quanto à geologia e pedologia, a NBR 13896 (Abnt 1997) recomenda a localização de aterros sanitários em depósitos naturais extensos e homogêneos de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s. Entretanto, os materiais que compõem a superfície da área de estudo são incompatíveis com esta especificação, uma vez que: os sedimentos Pós-Barreiras representam área de recarga e lixiviação – portanto, sendo consideravelmente permeável –, apresentando sedimentos grossos em seu topo; e o Grupo Barreiras, apesar de ser formado por material argiloso, também atua como área de recarga, devido à presença de canais em seu interior e bioturbação. Além disso, recomenda-se espessuras de material inconsolidado superiores a 10 metros, ou entre 5 e 10 metros (com restrições), o que pode não corresponder à realidade dos locais selecionados. Assim sendo, faz-se necessária intervenção de engenharia para a adequação da área de instalação ao empreendimento.

A Resolução CONAMA n°4, de 9 de outubro de 1995 (Brasil 1995), que estabelecia as áreas de segurança aeroportuária (ASAs), não indica a instalação de atividades de natureza perigosa, como vazadouros de lixo, nestas áreas. Elk (2007), apesar de destacar que a resolução se refere a vazadouros e não aterros sanitários, recomenda a atenção sobre as ASAs. Isto é, um raio de 20km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR) e de 13km para os demais. Entretanto, a resolução foi revogada pela Resolução CONAMA n°486, de 04 de abril de 2018 (Brasil 2018).

Foram feitos cinco *shapefiles* (figura 9) para classificação dos atributos quanto ao peso:

a) PESO_HIDRO incluiu os cursos d'água superficiais – retirados dos *shapefiles* de hidrografia unifiliar e bifiliar da base de dados do Estado do Pará –, os lagos – traçados manualmente com auxílio de imagens de satélite – e seus respectivos *buffers* de acordo com o Código Florestal Brasileiro. Isto é, para cursos d'água de largura superior a 600 metros, são assegurados 500 metros de área de preservação ao seu entorno; para largura entre 600 e 200 metros, 200 metros serão de área de preservação; e para lagos situados em área urbana, são reservados 30 metros. Este atributo foi classificado em: água e faixa de proteção (peso 0) e terra (peso 2).

b) PESO_INS incluiu as áreas institucionais e áreas de preservação ambiental. Este atributo foi classificado em: uso restrito (peso 0), APA/UC não oficializada por lei ou sem restrição para aterros e cemitérios (peso 1) e uso livre (peso 2).

c) PESO_TFV incluiu áreas de terra firme (peso 2) e de várzea (peso 0).

d) PESO_URB inclui áreas urbanas, áreas de expansão urbana e *buffer* de 500 metros. Este atributo foi classificado em: área urbana, expansão e faixa de proteção (peso 0) e área não urbana (peso 2).

e) PESO_NA inclui áreas geradas a partir de interpolação de pontos correspondentes a poços com limitação do polígono de terra firme da Região Metropolitana de Belém. A interpolação permitiu a confecção de mapa com as profundidades do aquífero livre, sendo estas classificadas em: < 5 metros (peso 0), 5 – 10 metros (peso 1) e > 10 metros (peso 2).

Estes *shapefiles* foram sobrepostos e transformados em um *shapefile* por meio da ferramenta *Union.* Os pesos foram ponderados com fórmula da metodologia de Aguiar (1989) e, portanto, foram gerados valores de adequabilidade para cada unidade. Sobre o resultado, foram retiradas as unidades que mostravam algum dos atributos como peso 0. Isto porque o peso 0 foi aplicado em situações de exclusão das áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários. Assim, mesmo áreas classificadas como adequadas ou razoáveis segundo a ponderação foram reclassificadas como inadequadas, refinando o mapa resultante. Alguns polígonos anteriormente considerados como razoáveis, mas que mostravam continuidade dos limites de polígonos classificados como adequados foram incorporados à classe adequada. Calculou-se a área em quilômetros quadrados dos polígonos das três classes.

Exportou-se os polígonos correspondentes à classe adequada e aplicou-se a ferramenta "*Explode Multipart Feature*", gerando 69 polígonos. Calculou-se a área em metros quadrados

destas feições. Comparou-se, então, com a posição dos mesmos nas bacias hidrográficas e em relação com a direção preferencial dos ventos. As áreas, anteriormente adequadas, que estão em locais à montante das nascentes dos rios e no eixo de direção principal dos ventos em relação à área ocupada, foram reclassificadas para razoáveis.

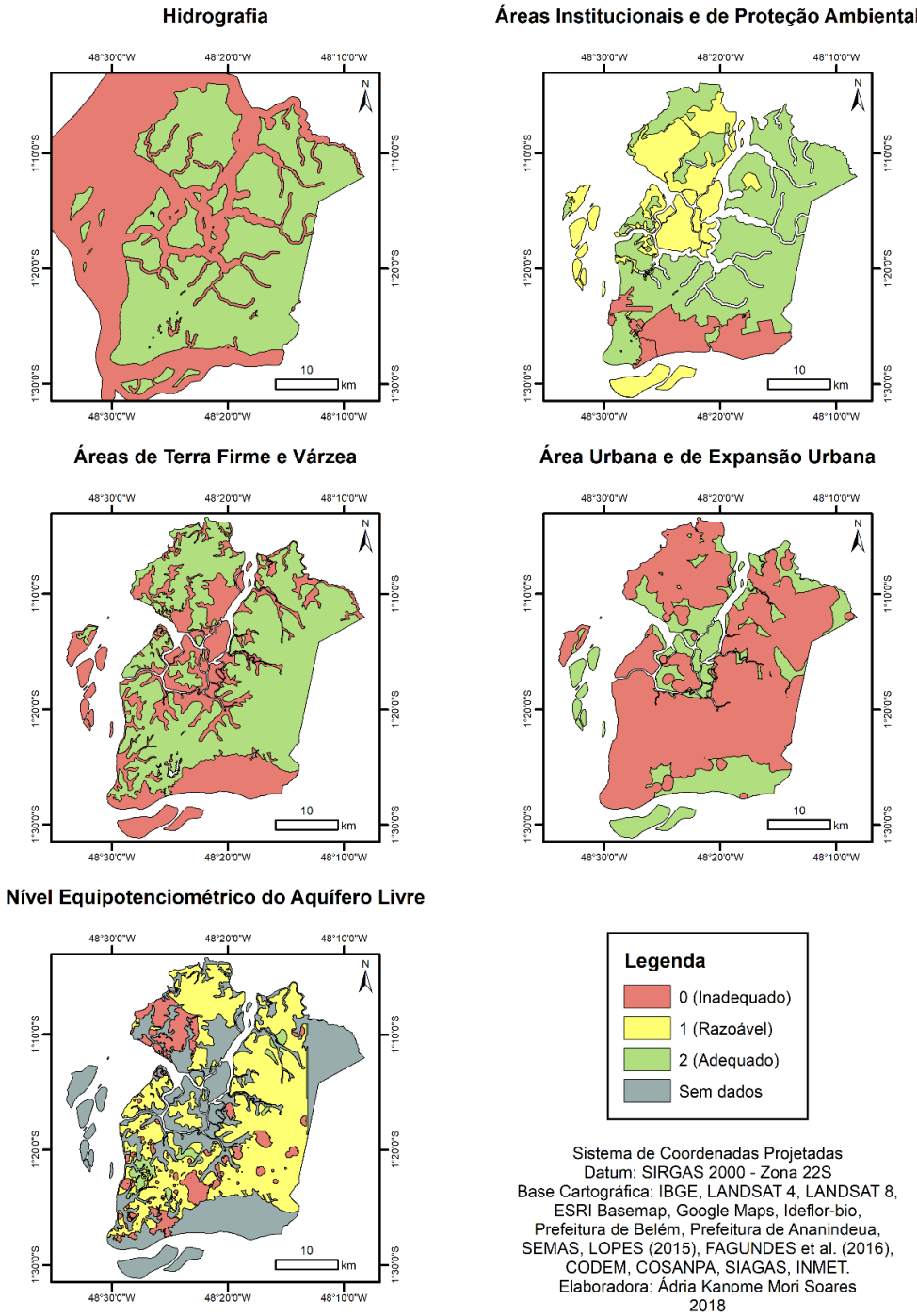

Figura 9 - Mapas dos atributos utilizados na seleção de áreas preferenciais à instalação de aterros sanitários, com seus respectivos pesos.

Para a Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), tomaram-se como critérios os atributos destacados na tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Critérios para seleção de áreas preferenciais à instalação de cemitérios (Modificado de Brasil 2006, 2012).

ATRIBUTOS FUNDAMENTAIS	**CLASSES DE ADEQUABILIDADE**		
	ADEQUADO (Recomendado)	**RAZOÁVEL (Recomendado com restrições)**	**INADEQUADO (Não recomendado)**
Uso e ocupação das terras	Áreas não ocupadas ou devolutas e vazios urbanos	Áreas pouco utilizadas, com permissão do órgão responsável e indenização dos proprietários	Ocupação intensa
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições		Unidades de conservação ou de uso restrito
Áreas institucionais	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Áreas de preservação permanente[1]	Distante	Próximo, somente se houver proteção	Próximo
Terrenos predominantemente cársticos	Distante		Próximo
Áreas de várzea	Distante		Próximo
Distância de cursos d'água	30m a 500m (a depender da largura do curso d'água)	Menor que 200m, com aprovação do órgão ambiental responsável	
Distância de lagos	30m (em áreas urbanas) ou 50m a 100m (em áreas rurais)	Inferior a 30m	
Nível máximo do aquífero livre[2]	1,5m	Inferior a 1,5m, com sepultamentos acima do nível natural do terreno	Inferior a 1,5m, sem intervenções no terreno

[1] Áreas de Proteção Ambiental (APA's), faixas de proteção de Unidades de Conservação de Uso Integral, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Monumento Natural.
[2] Em relação ao nível inferior das sepulturas, sendo medido ao final da estação de maior precipitação pluviométrica, isto é, entre os meses de janeiro e maio.

Levou-se em consideração principalmente os critérios do meio físico no processo de seleção de áreas potencialmente adequadas à instalação de cemitérios na Região Metropolitana de Belém.

A avaliação do uso do solo e ocupação urbana é importante devido às suas implicações nos âmbitos social e econômico do empreendimento. São recomendadas as áreas não urbanizadas, incluindo os vazios urbanos e as áreas devolutas – isto é, sem destinação específica por parte do poder público. Áreas pouco ocupadas são recomendadas com restrições, tendo em vista que estas deverão passar por processos burocráticos, como permissão do órgão responsável pelo planejamento urbano e aquisição dos terrenos ou indenização dos proprietários. Além disso, caso haja edificações, os locais selecionados deverão ser modificados para adequação ao projeto; isto poderia incluir demolição das construções, aterramento e preparação da superfície. As áreas ocupadas intensamente são inadequadas, uma vez que mostram diversas

edificações e a intervenção sobre estes locais teria altos custos, além de poder gerar insatisfações por parte da população e tomar mais tempo do que o necessário na fase inicial do projeto.

Foram descartadas áreas de uso restrito, áreas institucionais e áreas de preservação permanente devido à incompatibilidade de sua utilização para tal fim frente às recomendações da legislação vigente. Incluem-se as faixas protetivas de 30 a 500m de cursos d'água – que variam de acordo com as larguras dos mesmos –, de 30m de lagos em áreas urbanas e de 50 a 100m de lagos em áreas rurais. Estas áreas têm uso consolidado e/ou devem ser conservadas e, portanto, a construção de empreendimentos como cemitérios – potencialmente contaminantes – não são recomendadas.

Descartam-se, também, terrenos predominantemente cársticos, principalmente se houverem cavernas, sumidouros e rios subterrâneos, uma vez que estes locais são protegidos ambientalmente e estão sujeitos a colapsos por dissolução dos carbonatos que constituem o substrato. Estes colapsos seriam prejudiciais ao bom funcionamento de um cemitério e poderiam colaborar com a geração de áreas contaminadas pelos produtos da decomposição dos cadáveres. Apesar da área de estudo apresentar em sua estratigrafia a Formação Pirabas, que apresenta calcários intercalados com folhelhos, esta unidade não é aflorante na Região Metropolitana de Belém, tendo profundidades entre 80 e 135 metros.

Áreas nas quais o nível superior máximo do aquífero livre tem profundidade inferior a 1,5m em relação ao limite inferior das sepulturas devem ser descartadas ou devem passar por intervenções para que se adequem à exigência. Assim, o sepultamento é feito acima do nível natural do terreno que constaria como inadequado, minimizando a possibilidade de contaminação do aquífero livre por infiltração. O mesmo raciocínio de proteção ao nível freático é aplicado no atributo de áreas de várzea, que são descartadas da seleção. Isto se deve ao fato de que estas áreas estão sujeitas a inundações periódicas e mostram nível freático inferior a 0,5m. Além disso, destaca-se novamente sua dinâmica acelerada e pouca estabilidade dos solos.

Foram aproveitados três *shapefiles* utilizados na classificação dos atributos quanto ao peso para seleção de áreas potenciais à instalação de aterros sanitários:

a) PESO_HIDRO;

b) PESO_INS;

c) PESO_TFV.

E foram feitos dois *shapefiles* específicos para a seleção de áreas potenciais à instalação de cemitérios:

d) PESO_URBC incluiu as áreas urbanas do ano de 2017, sem as faixas de proteção de 500m da área urbana e da área de expansão urbana. Este atributo foi classificado em: área intensamente ocupada (peso 0), área pouco ocupada (peso 1), área não ocupada (peso 2).

e) PESO_NAC que, assim como o shapefile PESO_NA, incluiu áreas geradas a partir de interpolação de pontos correspondentes a poços limitados pela área de terra firme da Região Metropolitana de Belém. Sua classificação foi feita em: < 3 metros (peso 1) e > 3 metros (peso 2).

A substituição do *shapefile* PESO_URB, utilizado na classificação para aterros sanitários, pelo *shapefile* PESO_URBC é justificada pela melhor aceitação de cemitérios em áreas urbanas do que aterros sanitários, devido às diferenças dos impactos gerados e a relação dos mesmos com a população.

O *shapefile* PESO_URBC foi feito a partir do *shapefile* de área urbana do ano de 2017, refinando as limitações dos polígonos e retirando os vazios urbanos do interior das feições classificadas como urbanizadas. Também foram destacadas áreas que, apesar de mostrar edificações, apresentavam padrão de ocupação menos expressivo, comparando-se com as demais regiões da área de estudo. Além disso, não foram inclusas as áreas de expansão urbana e as áreas obtidas por *buffer* de 500m dos polígonos de área urbana e expansão urbana.

A opção pela classificação dos dados de nível do aquífero livre no *shapefile* PESO_NAC com o valor de 3 metros se deve ao fato de que a norma pede distanciamento de pelo menos 1,5m entre a superfície do aquífero livre e o limite inferior da sepultura. Assim, soma-se estes 1,5m especificados pela CONAMA com 1,5m correspondentes à profundidade do sepultamento.

Foram gerados quatro *shapefiles* relacionados ao nível d'água, que culminou no atributo PESO_NAC. Estes foram: NAC123, NAC1, NAC2 e NAC3. Os números representam os períodos incluídos no processamento de cada um; isto é, 1 corresponde ao período I (janeiro a maio), 2 corresponde ao período II (junho a agosto), 3 corresponde ao período III (setembro a dezembro) e 123 corresponde a todos os períodos reunidos. Uma vez que os meses de maior pluviosidade estão inclusos no período I, este foi escolhido para representar o nível do aquífero livre na ponderação desta fase do trabalho.

Estes cinco atributos foram reunidos (figura 10) em ambiente SIG e tratados segundo a mesma metodologia aplicada para aterros sanitários. Isto é, sobreposição dos *shapefiles* de diferentes atributos, união dos mesmos e ponderação dos pesos. Também foram classificadas como inadequadas as unidades com peso 0 atribuído a algum dos atributos.

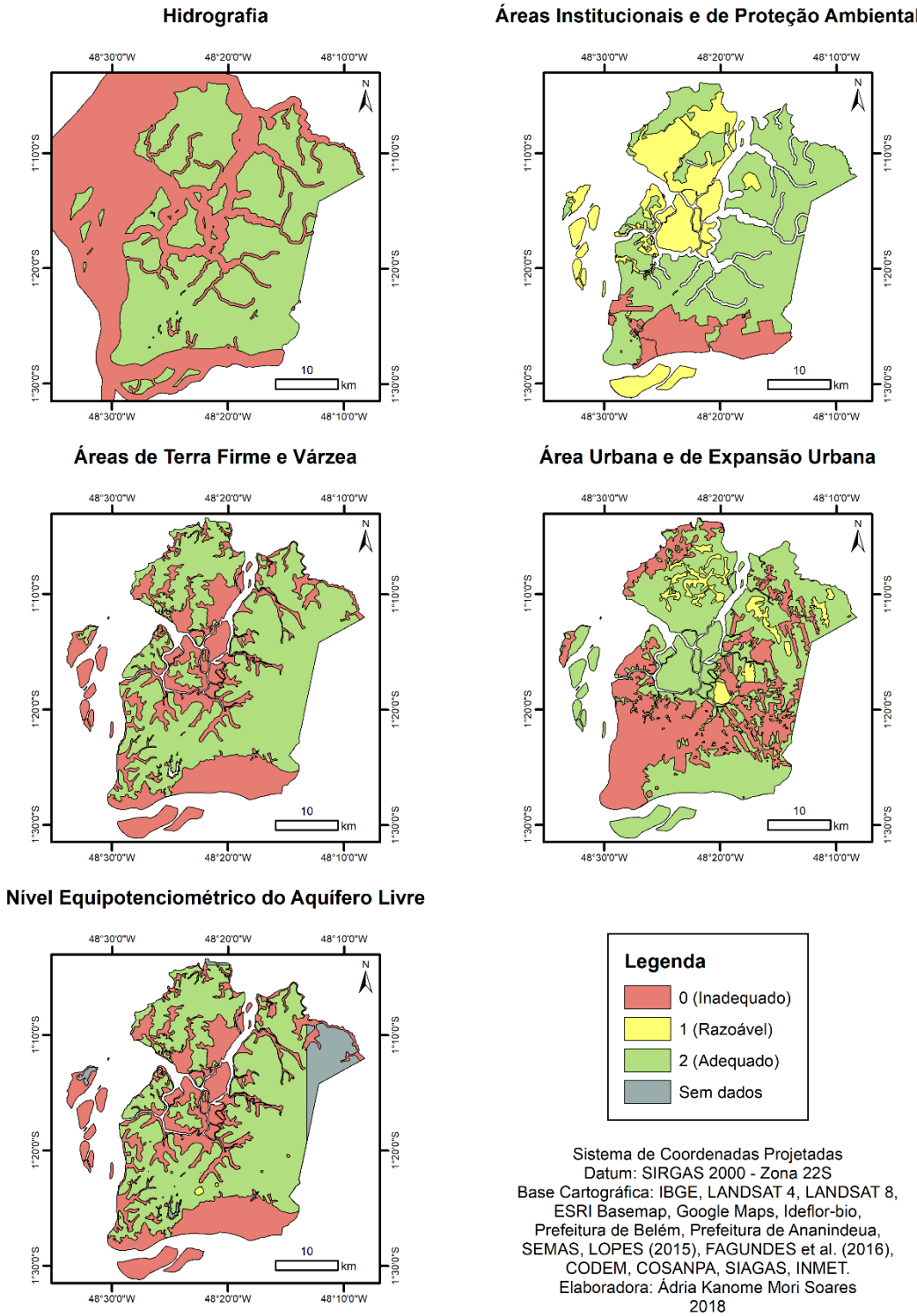

Figura 10 - Mapas dos atributos utilizados na seleção de áreas preferenciais à instalação de cemitérios, com seus respectivos pesos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram confeccionados mapas temáticos de modo a fornecer dados para a composição da Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE A) e da Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE B). Os mapas foram:

Mapa de área urbana e expansão urbana (APÊNDICE C),
Mapa de áreas de terra firme e de várzea (APÊNDICE D),
Mapa de áreas institucionais e áreas de proteção ambiental (APÊNDICE E),
Mapa de nível equipotenciométrico do aquífero livre (APÊNDICE F),
Mapa de bacias hidrográficas (APÊNDICE G),
Mapa de microbacias hidrográficas (APÊNDICE H) e,
Mapa de direção do vento (APÊNDICE I).

Os quatro primeiros mapas temáticos (apêndices C, D, E e F) foram os primeiros a serem processados para a confecção da Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE A) e da Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE B), sendo seus atributos de extrema importância para a seleção de áreas excludentes, isto é, inadequadas para a instalação de obras como aterros sanitários e cemitérios.

Os três últimos mapas temáticos (apêndices G, H e I) foram processados secundariamente, de modo a selecionar áreas inadequadas dentre as áreas selecionadas no primeiro processamento, refinando a carta resultante.

O mapa de declividade foi feito a partir de raster gerado pelo processamento de imagem SRTM e reclassificação da seguinte forma: 2-5% de declividade (peso 2), 5-10% de declividade (peso 1) e < 2% ou > 10% de declividade (peso 0). Entretanto, o produto não teve qualidade satisfatória, pois indicava unidades de distribuição espacial dispersa e de dimensões não compatíveis com o objetivo do estudo. Portanto, adotaram-se as classificações de Costa (2001), as quais indicavam relevo essencialmente plano, com 90% de cobertura dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba com declividades entre 0 e 2%, além da inexistência de declividades superiores a 15%.

5.1 CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE A)

A carta indica áreas potencialmente adequadas, levando em consideração critérios definidos pela ABNT (1992, 1997), pelo Código Florestal Brasileiro (Brasil 2012) e por Costa (2001).

Identificaram-se quatro unidades na Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE A), sendo:

a) Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários;

b) Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, com restrições;

c) Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, sem dados de nível d'água;

d) Áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários" é representada na carta correspondente (APÊNDICE A) pela cor verde, concentrando seus polígonos na porção norte do município de Santa Bárbara do Pará. Foram delimitados 10 polígonos, cujo cálculo de área mostrou 6.431.215 m² no total, com valores individuais entre 2.859 e 3.056.477 m². A unidade reúne áreas que possuíam peso recalculado pela ponderação de atributos de Aguiar (1989) entre 0,70 e 1,00. Na fase de soma dos pesos de cada atributo, a unidade mostrou pesos 1 e 2. Foi atingindo peso 2 em todos os critérios – salvo o nível equipotenciométrico do aquífero livre, que indicou pesos 2 (superior a 10 m de profundidade do nível d'água) ou 1 (nível d'água entre 5 e 10 m) em diferentes polígonos desta unidade. As áreas permaneceram com a classificação de adequadas depois da comparação de sua localização com os mapas de bacias e microbacias hidrográficas, além do mapa de direção preferencial dos ventos.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, com restrições" é representada pela cor amarela e mostra seus polígonos nos municípios de Belém (Ilha de Mosqueiro), Benevides e Santa Bárbara do Pará. A unidade tem área total de 32.329.731 m², sendo composta por 48 polígonos de áreas entre 2.179 e 7.690.428 m². Estas são subdivididas em quatro categorias, definidas pelo tipo de restrição:

a) Em áreas definidas como APA/UC no plano diretor municipal, porém sem lei oficializando-as como tal; ou APA/UC definida por lei, porém sem restrições para instalação de obras potencialmente poluidoras como aterros sanitários e cemitérios;

b) Em áreas sem dados de nível d'água, que além de representados em amarelo, estão hachurados;

c) Em áreas que compreendem as duas categorias anteriores;

d) Em áreas à montante ou próximas a nascentes dos cursos d'água da região e/ou a oeste/noroeste de áreas urbanas e, portanto, no eixo da direção preferencial dos ventos.

Segundo a ponderação de atributos, atrelada ao descarte de áreas com peso 0 em algum atributo, as áreas selecionadas seriam adequadas, salvo suas especificações restritivas. As áreas em APA/UC sem oficialização ou restrições podem ter seu uso autorizado pelos órgãos ambientais competentes. As áreas à montante ou próximas às nascentes dos cursos d'água e/ou no eixo da direção preferencial dos ventos podem adotar medidas mitigadoras dos efeitos destes fatores. Além disso, ainda há a restrição de acessos, em especial nas áreas localizadas nas regiões insulares.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, sem dados de nível d'água", representada por polígono hachurado, ocorre no extremo nordeste da área de estudo, nos municípios de Benevides e Santa Bárbara do Pará, e na Ilha de Cotijuba. Sua área é correspondente a 14.827.896 m², composta por 5 polígonos de áreas entre 979.221 e 6.496.026 m². Os dados que estão ausentes nesta unidade são do nível equipotenciométrico do aquífero livre, uma vez que a interpolação dos dados não foi capaz de calcular o nível d'água em áreas muito distantes dos pontos considerados – isto é, os poços. Assim, estas áreas são adequadas segundo todos os parâmetros considerados, salvo o nível d'água.

A unidade "Áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários", representada pela cor vermelha, tem maior área, totalizando 1.840.748.765 m² dispostos nos cinco municípios da área de estudo. Este polígono resulta da fusão de todas as unidades que mostravam peso 0 em algum dos atributos considerados.

No APÊNDICE A pode-se visualizar a Carta de áreas preferenciais à instalação de aterros sanitários na Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.2 CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE B)

A carta indica áreas potencialmente adequadas, considerando critérios descritos em Brasil, 2006 (Resolução CONAMA n° 368 de 2006) e Brasil, 2012 (Código Florestal Brasileiro).

Foram identificadas cinco unidades na Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA) (APÊNDICE B), que são:

a) Áreas adequadas à instalação de cemitérios;

b) Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições;

c) Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com ocupação urbana pouco expressiva;

d) Áreas adequadas à instalação de cemitérios, sem dados de nível d'água;

e) Áreas inadequadas à instalação de cemitérios.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de cemitérios" é representada na carta correspondente (APÊNDICE B) pela cor verde. Sua área total corresponde a 168.373.999 m², sendo dividida em 203 polígonos de áreas entre 22 e 17.577.019 m². Observa-se seus polígonos em todos os municípios, sendo o diferencial o tamanho das áreas disponíveis. Em Belém e Ananindeua, os polígonos têm menor tamanho, devido à urbanização intensa. Nos demais municípios, já ocorrem polígonos de maior dimensão. As áreas foram selecionadas pela ponderação de atributos de Aguiar (1989), com valores entre 0,70 e 1,00. De mesma forma que na Carta de Áreas Preferenciais À Instalação de Aterros Sanitários, foram excluídas as feições nas quais pelo menos um dos atributos mostrava peso 0. Todos os polígonos mostram peso 2 no atributo de urbanização, indicando áreas não urbanizadas.

A unidade “Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições” é representada em amarelo e ocorre na Ilha de Mosqueiro (Belém), no leste e centro-oeste de Santa Bárbara do Pará, extremo nordeste e oeste de Benevides, norte de Belém, além de parte das ilhas de Cotijuba, do Outeiro, de João Pilatos, de Santa Rosa e São Pedro. Sua área total tem 174.809.591 m², composta por 35 polígonos de 383 a 77.883.800 m². Estas áreas mostram peso 1 nos atributos de áreas institucionais e de proteção ambiental, e de urbanização.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de cemitérios, com ocupação urbana pouco expressiva" é representada em hachura e ocorre nos municípios de Benevides, Santa Bárbara do Pará e Belém (Ilha de Mosqueiro). Sua área total tem 48.487.825 m², composta por 31 polígonos de 383 a 9.240.307 m². Estas áreas mostram peso 1 no atributo de urbanização, referente a áreas de pouco uso ou vazios urbanos.

A unidade "Áreas adequadas à instalação de cemitérios, sem dados de nível d'água" é representada por traços finos na diagonal e se concentra no nordeste da área de estudo, além da Ilha de Cotijuba. Sua área total tem 54.378.365 m², composta por 3 polígonos de 103.217 a 46.489.865 m². Sua ocorrência é justificada pela incapacidade de cálculo do nível d'água pela interpolação dos pontos dos poços do SIAGAS/CPRM. As áreas não têm informação de nível d’água, porém são adequadas em todos os outros atributos.

A unidade "Áreas inadequadas à instalação de cemitérios", representada em vermelho é resultante da fusão de todos os polígonos que apresentaram peso 0 em um ou mais atributos. O cálculo de áreas indica área total de 1.554.740.421 m².

No APÊNDICE B pode-se visualizar a Carta de áreas preferenciais à instalação de cemitérios na Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.3 MAPA DE ÁREA URBANA E EXPANSÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE C)

Utilizou-se de fotointerpretação a partir de mapas *online* do *software* Google Earth PRO e imagens de satélite LANDSAT disponibilizados na plataforma Earth Explorer da USGS. Estas são de *path* 223 e *row* 061, e englobam: LANDSAT 4-5 C1 LEVEL 2 (de 1984 a 2011), LANDSAT 7 C1 LEVEL 2 (de 1999 a 2003) e LANDSAT 8 C1 LEVEL 2 (de 2013 a 2017), tendo assim 30 anos de cobertura. As imagens possuem resolução espacial de 30 metros e apresentam correção atmosférica. Selecionou-se pelo menos uma imagem para cada ano, tendo preferência por imagens com baixa densidade de nuvens sobre a área de estudo, de forma a facilitar sua visualização e fotointerpretação. Para anos cuja imagem de satélite principal – isto é, com maior área de visualização – possui regiões cobertas por nuvens, utilizou-se uma ou mais imagens do mesmo ano, com diferença de dias ou meses, para auxílio na fotointerpretação das regiões de difícil observação. Os anos de 2002, 2006 e 2012 são excluídos, por não apresentarem imagens adequadas para visualização ou existentes.

5.3.1 Área Urbana

A delimitação de áreas urbanas se fez possível a partir da observação das imagens de satélite e sua análise qualitativa, tendo em vista os dados espectrais e aspectos de forma, brilho, cor, textura, localização, contexto e conhecimento do analista da área de estudo (Souza 2012). A composição de bandas R3G4B5 do sensor do LANDSAT 4/5 é indicada por Seevers (1985 *apud* Souza 2012) devido à maior variação de tons e textura da área urbana e boa separação com as outras coberturas de solo. A composição de bandas R5G6B7 do sensor LANDSAT 8 mostrou melhor desempenho no processo de fotointerpretação.

Assim sendo, delimitou-se manualmente polígonos correspondentes à área urbana da Região Metropolitana de Belém no *software* ArcGIS 10.4 a partir da observação da imagem de satélite LANDSAT 8 de 06/07/2017 com composição R5G6B7, além de complementação com as imagens do Google Earth PRO e *World Imagery* do ArcGIS 10.4 – este creditado a Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, e GIS User Community.

Uma vez que as imagens possuem resolução de 30 m – considerada média, porém adequada para a escala de 1:50.000 (Chuvieco 2002 *apud* Souza 2012) –, procurou-se maior detalhe no traçado dos polígonos, para maior aproximação da realidade.

5.3.2 Expansão Urbana

Do mesmo modo que se delimitou o polígono de área urbana atual – correspondente ao ano de 2017 –, foram delimitados polígonos dos demais anos, entre 1984 e 2016. As imagens utilizadas foram das datas: 25/06/1984, 31/08/1985, 15/06/1986, 17/05/1987, 06/07/1988, 10/08/1989, 10/06/1990, 29/06/1991, 02/08/1992, 20/07/1993, 21/06/1994, 10/07/1995, 26/06/1996, 31/07/1997, 21/07/1998, 21/07/1999, 08/08/2000, 11/08/2001, 16/07/2003, 15/05/2004, 21/07/2005, 22/08/2005, 13/09/2007, 13/07/2008, 01/08/2009, 17/08/2009, 07/10/2010, 08/09/2011, 27/07/2013, 12/06/2014, 21/10/2015, 01/06/2016 e 20/08/2016.

Apesar de terem sido baixadas e selecionadas, as imagens LANDSAT 7 não foram utilizadas. Isto se justifica pelo fato de que a sua amplitude temporal, de 1999 a 2003, é coberta pelo satélite LANDSAT 4/5 e não houve necessidade de utilizar uma das suas imagens como apoio às imagens principais de cada um dos anos.

Após a criação de trinta *shapefiles* do tipo polígono, cujo atributo era a área urbana dos respectivos anos, estes foram reunidos com o *shapefile* correspondente ao ano de 2017 em um único *shapefile,* com o uso da ferramenta *Merge*. De modo a facilitar a visualização das áreas acrescidas à mancha urbana ao longo dos anos, os polígonos foram recortados com a ferramenta *Clip* do editor – isto é, dentro do ambiente do mesmo *shapefile* – em ordem temporal crescente. Assim, as feições mais antigas são colocadas sobre as feições mais novas. Aplicou-se uma paleta de cores que varia do verde (mais antigo) ao vermelho (mais novo) para melhorar a observação das áreas ocupadas pela urbanização.

A evolução da área urbana pode ser observada de diversas formas, como por exemplo: colocando os 31 mapas separadamente sob uma mesma superfície ou área de trabalho; produzindo uma animação (.gif) com a sequência temporal dos mapas gerados; ou representando as áreas acrescidas em cores diferentes em um único mapa (figura 11).

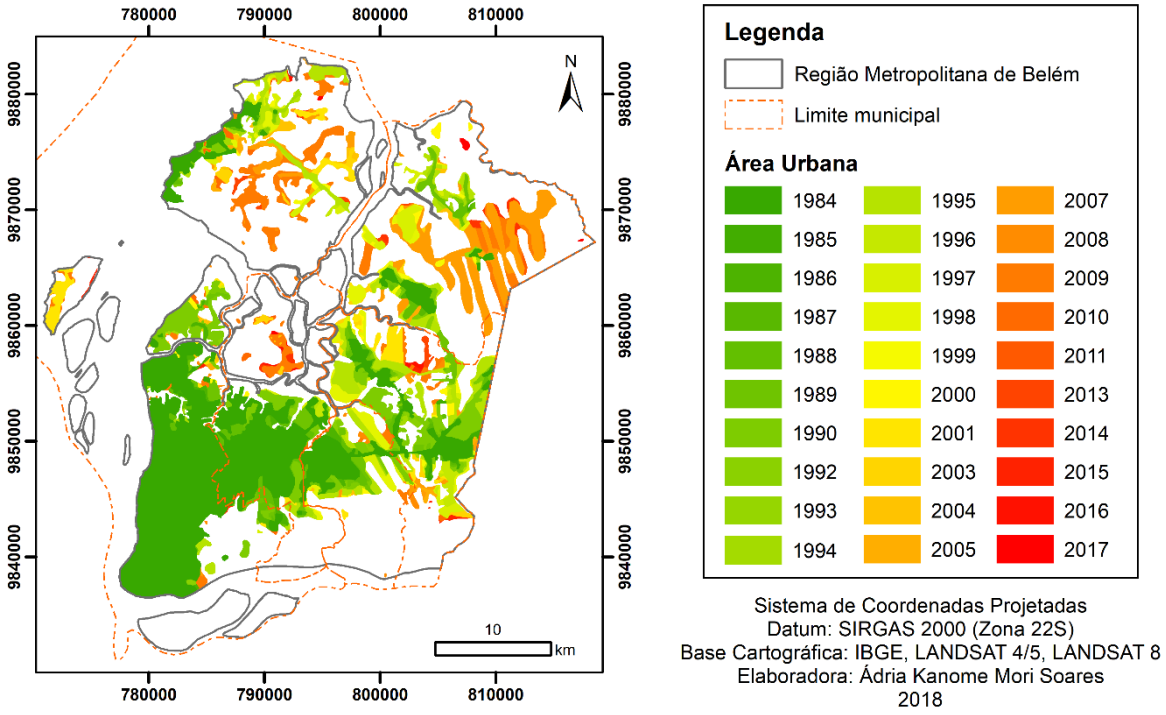

Figura 11 - Mapa da evolução temporal da área urbana da Região Metropolitana de Belém (PA), de 1984 a 2017.

O crescimento das áreas também pode ser observado de forma numérica, por meio da tabela 4, a qual representa a área, em quilômetros quadrados, bem como a taxa de crescimento para cada ano no período de 1984 a 2017 (com exceção de 2002, 2006 e 2012). O cálculo da taxa foi feito com a fórmula:

Tabela 4 - Áreas ocupadas pela urbanização, em km², na Região Metropolitana de Belém (PA), de 1984 a 2017.

Ano	Área (km²)	Taxa (%)	Ano	Área (km²)	Taxa (%)	Ano	Área (km²)	Taxa (%)
1984	234,04	0,52	1995	386,68	2,40	2008	529,06	7,12
1985	235,26	2,47	1996	396,20	4,13	2009	569,61	0,46
1986	241,23	0,71	1997	413,25	3,86	2010	572,26	0,09
1987	242,96	5,81	1998	429,84	1,02	2011	572,77	0,49
1988	257,96	7,01	1999	434,25	1,13	2013	575,60	0,54
1989	277,41	15,81	2000	439,22	3,86	2014	578,75	0,24
1990	329,50	0,58	2001	456,86	1,52	2015	580,15	0,21
1991	331,41	0,41	2003	463,89	1,08	2016	581,35	0,18
1992	332,77	0,14	2004	468,94	1,09	2017	582,40	-
1993	333,23	1,89	2005	474,11	9,94			
1994	339,64	12,17	2007	526,44	0,50			

As taxas de crescimento observadas variam entre 0,09 e 15,81%, tendo média de 2,91%. Desde 2009, a taxa de crescimento se mantém inferior a 1%, oscilando entre 0,18% e 0,54%. Isto pode ser justificado pela utilização dos vazios urbanos e/ou verticalização urbana.

É importante destacar que os polígonos correspondentes às áreas ocupadas podem ter seu tamanho e geometria modificados não somente pelo uso do solo, mas também pela sensibilidade do analista e nível de detalhe da sua vetorização.

A partir da observação da tendência geral de crescimento urbano, tanto no mapa quanto na tabela, pode-se estimar como áreas possíveis para expansão os vazios entre as estradas nas quais se observa ocupação de padrão “espinha-de-peixe”. Entretanto, a taxa desta expansão provavelmente será inferior a 1%, se o padrão estabelecido desde 2009 se mantiver.

Os polígonos representantes da área urbana são organizados em ordem temporal por gradiente de cores variantes do verde ao vermelho. As áreas mais antigas mostram cores verdes escuras e, com o aumento do ano que representam, passam pelos tons amarelos e alaranjados, até as cores vermelhas para as áreas mais novas deste estudo. Uma vez que as áreas antigas também fazem parte dos polígonos dos anos mais recentes, optou-se por sobrepor estes com os polígonos de áreas antigas. Desta forma, é possível observar todas as áreas no mesmo mapa.

A área de ocupação mais antiga é observada na parte continental de Belém, no norte da porção continental de Ananindeua e, em menor cobertura, no litoral noroeste da Ilha de Mosqueiro e nos centros urbanos de Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará.

Na porção continental do município de Belém, é possível observar acreção de pequenas áreas em adjacências da área de 1984, com destaque aos bairros Tenoné, Guamá, Terra Firme e Universitário. Na área insular, há crescimento principalmente na década de 90 na Ilha de Caratateua e litoral norte da Ilha de Mosqueiro. A partir dos anos 2000, ocorre expansão das áreas ocupadas ao longo de estradas na Ilha de Mosqueiro e observa-se ocupação na Ilha de Cotijuba.

O município de Ananindeua mostrou expansão durante a década de 90 no entorno da área ocupada desde 1984, tanto para sul quanto para norte. O crescimento para leste e oeste é freado por seus limites municipais com Belém e Marituba. A partir de 2003, percebe-se a ocupação na Ilha de João Pilatos; a princípio, na porção centro-norte e depois, por volta de 2010, na porção sudeste.

No município de Marituba, o crescimento mais notável ocorreu entre o final da década de 80 e o final da década de 90, com algumas pequenas áreas ocupadas por volta de 2007. As novas áreas acompanham o polígono de 1984 e estradas, começando a configurar um padrão "espinha-de-peixe" na parte leste de sua área.

A maior expansão em área é observada nos municípios de Benevides de Santa Bárbara do Pará. Ambos mostram expansão, em primeiro momento, em volta dos centros urbanos e áreas já ocupadas desde meados da década de 80. Benevides apresenta grandes áreas ocupadas principalmente durante a década de 90. Entretanto, nos extremos norte e sul da área urbana, há locais ocupados após 2015. Santa Bárbara do Pará, por outro lado, mostra maior área ocupada a partir de 2006, ao longo de estradas; evidenciando um padrão "espinha-de-peixe" na parte central do município.

No geral, o crescimento da ocupação urbana tende a respeitar os contornos físicos dos municípios, cortados por diversos rios, e a maior parte de áreas restritas – de conservação ambiental e cultural.

É notável a ausência ou minimização da ocupação nas áreas das ilhas de Belém e Ananindeua, além da porção mais a sul da área de estudo – que inclui a APA de Belém, a comunidade quilombola do Abacatal e o Refúgio de Vida Silvestre Metrópole da Amazônia. As ilhas são classificadas no plano diretor de Ananindeua como macrozonas rurais; insular e continental sul, respectivamente, e constam como unidades de conservação. No plano diretor de Belém, grande parte das ilhas são ou contém áreas de proteção ambiental. Sendo assim, a ocupação regular destas áreas é desestimulada pelos municípios.

No APÊNDICE C pode-se visualizar o Mapa de área urbana e expansão urbana da Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.4 MAPA DE ÁREAS DE TERRA FIRME E VÁRZEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE D)

A separação das áreas de terra firme das áreas de várzea foi feita a partir da fotointerpretação de imagem de satélite LANDSAT 8 de 06/07/2017 com composição colorida R4G5B3, e imagem de radar SRTM, destacando os limites entre terra firme e água, além de evidenciar porções do solo mais úmidos – potenciais áreas de várzea. Foram utilizados, como auxílio à fotointerpretação, dados de altimetria gerados a partir da imagem SRTM e levantamento planialtimétrico da CODEM (Belém). Além disso, incluíram-se consultas às tábuas de maré referentes aos corpos d'água presentes na área de estudo, o que permitiu estender o limite das áreas de várzea até o limite topográfico definido pela maior cota de maré.

No ArcGIS 10.4 foi gerado o arquivo *shapefile* de curvas de nível da área de estudos foi gerado a partir de imagem de radar da missão SRTM, folha SA-22-X-D, disponibilizada no site da Embrapa (https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/). Com a ferramenta

Raster to Point, a imagem raster foi convertida em *shapefile* pontual. Uma vez que não foram encontrados valores negativos, não foi necessária a correção. A partir desse ponto gerou-se um arquivo TIN a partir da ferramenta *Create TIN From Features*. E, com a ferramenta *TIN to Raster*, foi gerado o modelo digital de elevação (MDE). Por fim, as curvas de nível foram extraídas do MDE, com a ferramenta *Contour*.

A quantidade de água presente no solo modifica a resposta do substrato às ações antrópicas, sendo sua estabilidade diminuída conforme o aumento da saturação em água e consequente desagregação de grãos. A divisão em duas unidades, terra firme e várzea, se dá basicamente pela ocorrência de inundações e, portanto, aumento no conteúdo de água no solo.

O mapa mostra duas unidades, como evidenciado por seu título: áreas de terra firme e áreas de várzea.

A área de várzea é submetida a inundações periódicas, motivadas tanto pelo aumento do nível da maré, como pelo regime de chuvas na região. Desta forma, a área é inapropriada para construção de aterros sanitários, bem como cemitérios. A unidade pode ser dividida em três subunidades: igapó – permanentemente inundada –, várzea baixa – próxima à margem dos corpos d'água, sendo inundada diariamente – e várzea alta – inundada esporadicamente, com o aumento pluviométrico ou do nível da maré. A área de terra firme, por sua vez, é definida pelas áreas localizadas acima do nível mais alto das marés registradas.

No APÊNDICE D pode-se visualizar o Mapa de áreas de terra firme e de várzea da Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.5 MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE E)

Esse mapa foi elaborado a partir da compilação de mapeamentos já realizados e disponibilizados online pelo Governo do Pará, no site do Ideflor-bio (http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/) e pela Prefeitura de Belém (http://www.belem.pa.gov.br/app/c2ms/v/?id=18&conteudo=4757). Também foram utilizados dados vetoriais obtidos em consultas aos arquivos digitais da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS – https://www.semas.pa.gov.br/documentos/downloads/), mapas e dados vetoriais cedidos pela empresa Terra Meio Ambiente e dados gerados a partir de vetorização das áreas de interesse no mapa de áreas institucionais da dissertação de mestrado de Lopes (2015). Foi feito o georreferenciamento e digitalização de dados disponibilizados em formato PDF para ambiente SIG por meio do *software* ArcGIS 10.4.

Os elementos representados no mapa incluem:

a) Áreas institucionais;
b) Distritos industriais;
c) Áreas de proteção ambiental (APAs);
d) Unidades de conservação descritas nos planos diretores municipais;
e) Aeroportos.

5.5.1 Áreas institucionais

Na Região Metropolitana de Belém, as áreas institucionais incluem as áreas de domínio das forças armadas e as instituições administrativas, de pesquisa e educação (Belém 1993 *apud* Lopes 2015). Seus polígonos foram vetorizados a partir do mapa de Lopes (2015), que localiza o Cinturão Institucional de Belém.

As áreas militares correspondem a terrenos sob posse do exército, marinha e aeronáutica. As áreas públicas são representadas por instituições federais, como a Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Escola de Aplicação da UFPA, Instituto de Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

5.5.2 Distritos Industriais

A área de estudo apresenta dois locais correspondentes a distritos industriais, instituídos pelo Governo do Pará em 1979 e 1981. Os distritos são:

a) Distrito Industrial de Ananindeua;
b) Distrito Industrial de Icoaraci.

Os dois foram reunidos em um *shapefile* nomeado “Distritos_industriais.shp”. O Distrito Industrial de Ananindeua foi vetorizado a partir do mapa de bairros do referente município, disponibilizado pela Prefeitura de Ananindeua em pasta do Drive correspondente ao Atlas PDA 2006 (Ananindeua 2017), acesso a partir da página da Revisão do Plano Diretor de Ananindeua (https://planodiretorananindeua.wordpress.com/). O Distrito Industrial de Icoaraci foi vetorizado a partir do georreferenciamento do APÊNDICE V (Zoneamento) do Plano Diretor do Município de Belém.

5.5.3 Áreas de Proteção Ambiental

As Áreas de Proteção Ambiental foram instituídas no país pela Lei n° 6.902, de 27 de abril de 1981 (Brasil 1981), que proibia em seu território:

a) a implantação e operação de indústrias potencialmente poluidoras e passíveis de afetar mananciais de água;

b) a realização de obras de terraplenagem e abertura de canais, alterando as condições ecológicas locais;

c) o exercício de atividades que incentivem a aceleração da erosão e/ou a acentuação do assoreamento das coleções hídricas;

d) o exercício de atividades que ameacem extinguir na área protegida as espécies raras da biota regional.

Atualmente, as APAs são reguladas pela Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil 2000).

As APAs são legalmente instituídas pelo Poder Público, sob regime especial de administração. A página *online* do Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Pará (Ideflor-bio) lista quatro unidades de conservação na Região Administrativa de Belém, sendo estas correspondentes a: Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém, Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combu, Refúgio de Vida Silvestre Metrópole da Amazônia (antiga fábrica da Pirelli) e Parque Estadual do Utinga. A vetorização destas áreas de proteção ambiental foi feita a partir do georreferenciamento do mapa temático disponível no site do Ideflor-bio. É adicionado o Parque Ecológico do Município de Belém "Gunnar Vingren", conhecido como Parque do Médici, vinculado à SEMMA e instituído pela Lei n° 7.539/1991 (Belém 1991), sendo o seu *shapefile* cedido pela empresa Terra Meio Ambiente. Além disso, são incluídos os *buffers* correspondentes às faixas de proteção permanente dos corpos hídricos que compõem a área de estudo.

Segundo o Decreto Estadual n° 1.551/1993 (*apud* Pará 2008), no território da Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém, não são permitidas atividades de terraplanagem, mineração, dragagem e escavação que possam causar danos ou degradação do meio ambiente, bem como perigo ao mesmo ou para pessoas. Além disso, também é vetada qualquer atividade industrial potencialmente capaz de poluir.

O Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga (Pará 2013) mostra um zoneamento da área (figura 12), sendo as zonas: baixa intervenção, moderada intervenção - M1, moderada

intervenção - M2, alta intervenção, recuperação, ocupação temporária, conflito/consolidada e amortecimento.

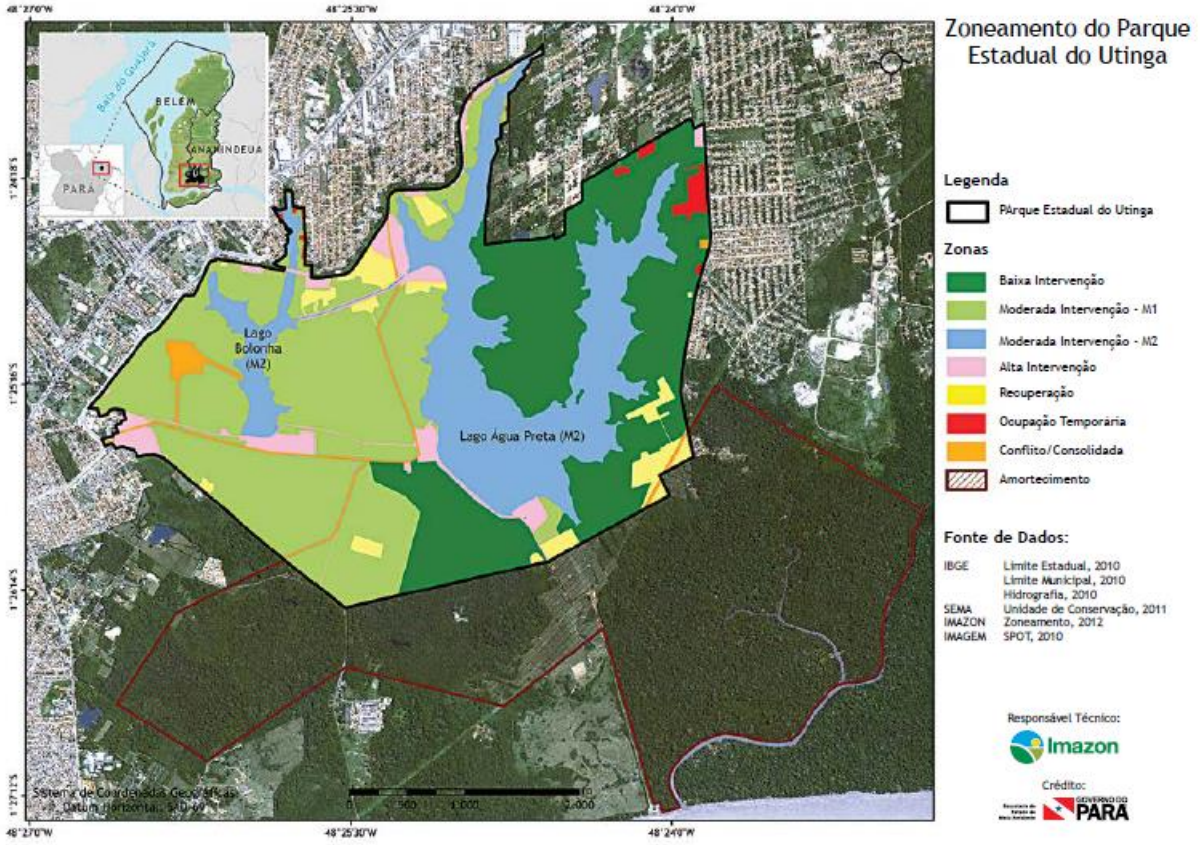

Figura 12 - Mapa de zoneamento do Parque Estadual do Utinga (Pará 2013).

Segundo este zoneamento, as zonas de baixa intervenção, de moderada intervenção M1 e moderada intervenção M2 indicam proibição de instalação de qualquer infraestrutura e equipamentos de visitação intensiva. As zonas de alta intervenção, de recuperação, de ocupação temporária e conflitante não especificam proibição de instalação de aterros sanitários ou cemitérios, mas a análise de suas permissões e proibições levam a inferência de que sua instalação não é recomendada. A zona de amortecimento indica a necessidade de autorização com parecer técnico da gestão do parque para atividades altamente poluidoras e/ou que exijam supressão florestal.

O Plano de Gestão do Refúgio de Vida Silvestre Metrópole Amazônia – REVIS (IA & IDEFLOR-Bio 2018) apresenta zoneamento (figura 13), que divide a área nas zonas: baixo impacto, intervenção moderada do dique, moradores tradicionais, preservação do modo de vida tradicional, uso conflitante, uso intensivo, recuperação de área degradada, amortecimento - setor I, amortecimento - setor II, amortecimento - setor III.

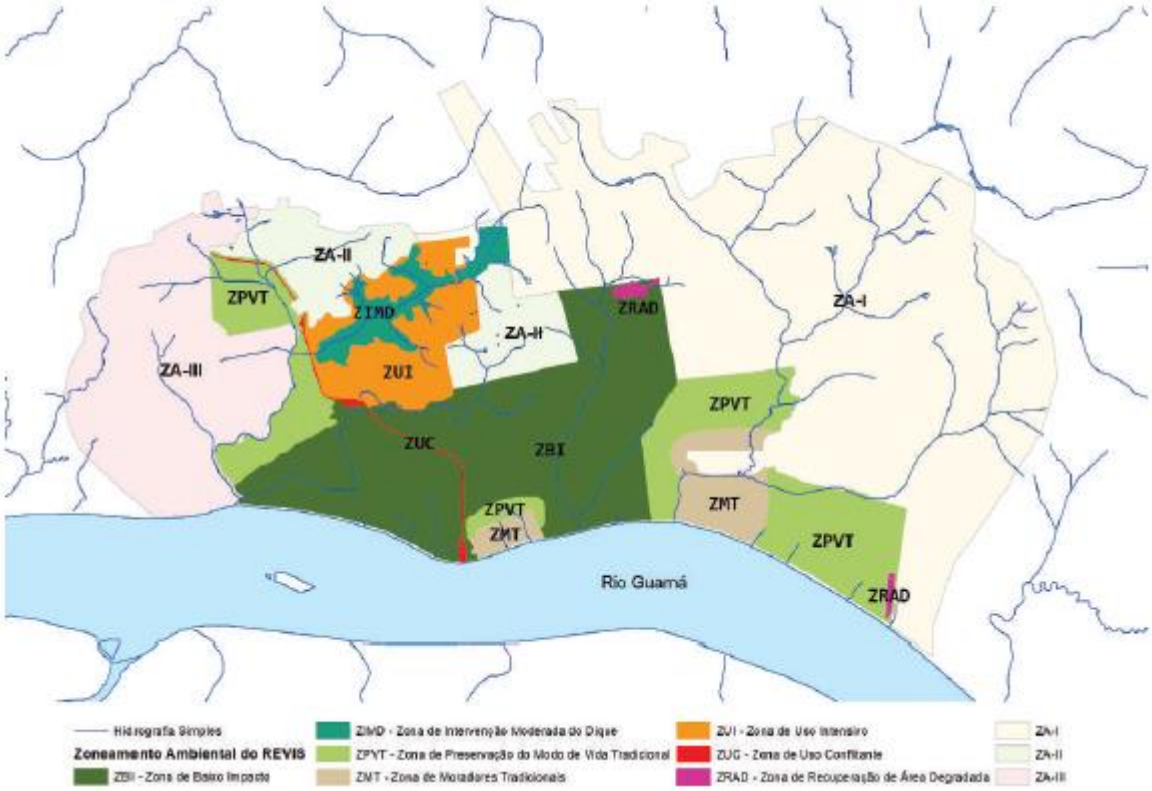

Figura 13 - Mapa de Zoneamento do Refúgio de Vida Silvestre Metrópole Amazônia (IA & IDEFLOR-Bio 2018).

Segundo este zoneamento, fica proibida a instalação de qualquer tipo de infraestrutura não compatível com parâmetros de mínimo impacto – isto é, que não descaracterize os ambientes naturais – na zona de baixo impacto. Na zona de moderada intervenção do dique, proíbe-se, entre outros usos, o lançamento de qualquer tipo de efluente ou descarte de resíduos, instalação de edificação permanente (excetuando-se as necessárias ao ecoturismo e gestão) e uso direto do solo e recursos naturais. Na zona de preservação do modo de vida tradicional, é proibido o descarte de qualquer tipo de resíduo e instalação de infraestruturas não compatíveis com parâmetros de mínimo impacto. A zona de moradores tradicionais mostra proibição do descarte de qualquer tipo de resíduo. A zona de uso intensivo proíbe a disposição ou descarte de resíduos ou restos de materiais de qualquer natureza e embalagens, fora de recipientes adequados, além de qualquer tipo de lançamento de efluente químico e industrial; sendo necessário o tratamento secundário ou terciário dos efluentes domésticos antes de retornarem à subsuperfície; também é vedado o lançamento de qualquer natureza nos corpos hídricos superficiais. A zona de recuperação de área degradada proíbe o lançamento de efluentes e disposição de resíduos sólidos. As zonas de amortecimento, setores I, II e III vetam todo tipo de operação e instalação de quaisquer empreendimentos altamente poluentes – inclusos os aterros sanitários. Cabe destacar que o setor III é localizado próximo do Aterro Sanitário de Marituba (REVITA) e, por isso, recomenda-se o monitoramento do mesmo, inclusive da

qualidade da água nos corpos hídricos sob a sua influência. Na zona de uso conflitante, é permitida a construção de obras para promover saneamento (resíduos sólidos e efluentes), sob autorização da gestão da UC.

5.5.4 Unidades de Conservação dispostas nos Planos Diretores Municipais

A Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil 2000), que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), conceitua unidade de conservação como: "espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção".

Os planos diretores municipais contêm disposições sobre zoneamento ambiental e propostas de proteção do meio ambiente natural e cultural. Isto é, áreas nas quais a instalação de aterros sanitários e cemitérios não seria possível, devido ao uso restrito motivado pela necessidade de preservação a longo prazo das mesmas. Identificaram-se as áreas protegidas por cada município e foi feita sua vetorização, com auxílio dos mapas apêndices aos planos diretores e imagens de satélite (Google Earth PRO), no *software* ArcGIS 10.4.

5.5.4.1 Plano Diretor do Município de Ananindeua

No município de Ananindeua, conforme o seu Plano Diretor (Lei n° 2.237/06, de outubro de 2006), recomenda-se a implantação de faixa marginal protetora ao longo do Igarapé Itabira e seus afluentes, do Igarapé Água Preta, do Rio Ananindeua e seus afluentes (Igarapé das Toras, Igarapé Aurá e Igarapé do Pato Macho), do Rio Maguariaçu, do Rio Mocajatuba, do Furo do Cotovelo, do Furo do Maguari, do Rio Mocajatuba, do Rio Ananindeua, do Igarapé Pau Grande, do Igarapé Oriboquinha e do Igarapé do Abacatal.

A macrozona rural insular, correspondente às ilhas de Viçosa, João Pilatos, Santa Rosa, Mutá, Arauari, São José da Sororóca, Sororóca e Sassunema, é proposta a se transformar em unidade de conservação. Entretanto, não se instituiu como UC em nenhuma lei além do plano diretor; muito menos se especificou as atividades proibidas na área.

Sugere-se a criação de unidades de conservação das nascentes do Igarapé Itabira, do Igarapé 40 Horas, do Igarapé Zé Borges, do Igarapé Ariri, do Igarapé Água Preta, do Igarapé das Toras, do Igarapé Aurá, do Igarapé do Pato Macho, do Igarapé Curuçambá, do Igarapé Icuí-Guajará, do Igarapé Oriboquinha, do Igarapé do Abacatal e do Rio Aurá.

Por fim, no que tange ao meio físico e preservação ambiental, o plano recomenda o estabelecimento de índices urbanísticos diferenciados de uso e ocupação urbana para a unidade urbana 04, uma vez que a mesma pertence à APA.

5.5.4.2 Plano Diretor do Município de Belém

No município de Belém, o plano diretor, instituído pela Lei n° 8.655, de 30 de julho de 2008 (Belém 2008) apresenta áreas a serem preservadas nas Macrozonas do Ambiente Natural, compostas pelas Zonas do Ambiente Natural 1, 2 e 3, e nas Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA).

A Zona do Ambiente Natural 1 (ZAN 1) é subdividida em Setor I e Setor II. Uma vez que a delimitação da ZAN 1 - Setor I corresponde à APA - Belém, esta zona tem como principais objetivos a conservação e a recuperação das áreas do Parque Ambiental de Belém, incluindo os lagos Água Preta e Bolonha. A ZAN 1 - Setor II objetiva a conservação dos patrimônios ambiental e cultural no setor, tendo em vista que o mesmo engloba áreas verdes conservadas, o sítio histórico e arqueológico do Engenho Murutucu e a margem sul do Rio Guamá.

A Zona do Ambiente Natural 2 (ZAN 2) corresponde às áreas não urbanizadas das ilhas de Mosqueiro, Caratateua e Cotijuba, sendo subdividida em Setor I, Setor II, Setor III, Setor IV e Setor V. A ZAN 2 - Setor I compreende o Parque Ecológico da Ilha do Mosqueiro (ou Parque Municipal da Ilha do Mosqueiro), que corresponde às ilhas do Cotovelo, Terra Alta e Cacará, sendo ladeado pelos rios Murubira e Tamanduá. A ZAN 2 - Setor II é situada na parte centro-sul da ilha de Mosqueiro e tem como um dos objetivos a conservação de recursos naturais e vegetação ciliar dos cursos d'água ali presentes. A ZAN 2 - Setor III é localizada no sul da Ilha de Mosqueiro, incluindo a Ilha de São Pedro. O setor possui expressiva área preservada e o sítio histórico e arqueológico da ilha de São Pedro, que são estimulados a ser conservados. O plano diretor sugere a realização de estudos cuja finalidade seria a criação de unidades de conservação na ZAN 2 - Setor IV e na ZAN 2 - Setor V. Entretanto, não são especificadas as áreas para tal. Além disso, destacam-se como objetivos a conservação dos ecossistemas e patrimônio histórico, cultural e arqueológico.

A Zona do Ambiente Natural 3 (ZAN 3) compreende as demais ilhas do município, não apresentando formação de núcleos urbanos – somente comunidades ribeirinhas. Objetiva-se a conservação de flora, fauna e demais recursos naturais; porém não há indicação de unidades de conservação ou áreas de proteção ambiental – excetuando-se as faixas de conservação ao longo dos cursos d'água.

As Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA) apresenta elementos do ambiente natural de interesse público, constituindo áreas a serem preservadas. Na Macrozona do Ambiente Urbano, são destacados como parte da ZEIA: Parque Ecológico do Município de Belém, Parque Guajará, Parque Ariri, área da Marinha, orla do rio Maguari, orla continental do rio Guamá e baía do Guajará, orla das ilhas de Mosqueiro, Caratateua e Cotijuba, Jardim Zoobotânico Emílio Goeldi, Jardim Botânico Bosque Rodrigues Alves, Escola Bosque Prof. Eidorfe Moreira, bacia do rio Tamanduaquara, bacia do rio Murubira, bacia do rio Cajueiro, bacia do rio Carananduba, bacia do rio Sucurijuquara e bacia do rio Jacarequara.

O Parque Ecológico do Município de Belém ("Gunnar Vingren" ou Parque do Médici) foi instituído pela Lei n° 7.539/1991 (Belém 1991) e responsabiliza o município pela proteção, manutenção e recuperação dos seus recursos naturais. Não são especificadas proibições. O Parque Guajará, instituído pela Lei n° 7.806, de 30 de julho de 1996 (Belém 1996), é um bairro do município de Belém e não apresenta plano de manejo ou recomendações quanto a permissões e proibições na referida área. A Escola Bosque Prof. Eidorfe Moreira foi instituída pela Lei Ordinária n° 7.747, de 2 de janeiro de 1995 (Belém 1995), sendo o seu terreno reservado exclusivamente para as finalidades previstas em seu estatuto – não incluindo a instalação de aterros sanitários e cemitérios.

Na Macrozona do Ambiente Natural, são parte da ZEIA: Parque Estadual do Utinga, APA Combu, Parque Ecológico da Ilha do Mosqueiro, Floresta do Redentor (ilha de Caratateua), área norte da ilha de Caratateua, região dos lagos da ilha de Cotijuba, área entre os rios Pratiquara e Mari-Mari (Ilha de Mosqueiro), área do igarapé do Santana e furo da Bacabeira (leste da Ilha de Mosqueiro), arquipélago do Furo das Marinhas, orla da ilha de Cotijuba, ilhas a oeste do Município de Belém, ilhas ao sul do Município de Belém, área do furo Pirajuçara e igarapé Pindauateua (Ilha de Mosqueiro), ilha de São Pedro (sul da ilha de Mosqueiro), Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém - APA Belém e orla da ilha de Caratateua.

A APA da Ilha do Combu é regulada pelo Decreto Estadual n° 6.083, de 13 de novembro de 1997 (Pará 1997), que proíbe ou limita a implantação e o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, a realização de obras de terraplanagem e a abertura de canais, quando essas iniciativas não forem restritamente necessárias para atividades afins. O Parque Ecológico da Ilha do Mosqueiro foi criado pela Lei n° 1.401/1988, ratificado pelo Decreto n° 26.138/1993 (*apud* Prefeitura de Belém 2018a) e citado no Plano Diretor do Município de Belém, no qual se recomenda conservar o patrimônio, criar e implantar unidades de

conservação. Tendo em vista que não foi possível encontrar a lei e o decreto, não se identificou as proibições dentro do parque.

Acrescenta-se a necessidade de estudos socioambientais para criar unidades de conservação dos tipos:

a) Estação Ecológica: ilhas a oeste do Município de Belém e arquipélago do Furo das Marinhas;

b) Área de Proteção Ambiental (APA): área do furo Pirajuçara e igarapé Pindauateua (ilha de Mosqueiro) e área do igarapé do Santana e furo da Bacabeira (leste da ilha de Mosqueiro);

c) Reserva de Desenvolvimento Sustentável: área entre os rios Pratiquara e Mari-Mari.

5.5.4.3 Plano Diretor do Município de Benevides

O município de Benevides possui em seu plano diretor, instituído pela Lei Municipal n° 1.031/06, de 11 de outubro de 2006 (Benevides 2006), a presença das Zonas Especiais de Interesse Ambiental (ZEIA). Seus principais objetivos são a preservação, conservação, manutenção, recuperação e requalificação da paisagem natural. As ZEIA se subdividem em três, sendo:

a) ZEIA 1: áreas de vegetação preservada nas zonas urbana e rural, nas quais são situadas as nascentes do rio Benfica e sua extensão na área urbana;

b) ZEIA 2: área do Taiassuí e margem direita do rio Guamá;

c) ZEIA 3: ilhas limites com o município de Ananindeua, no distrito de Murinim.

A seção propõe a elaboração de zoneamento ambiental e destaca a necessidade de aprovação prévia do órgão municipal competente para qualquer intervenção em edificações nas áreas citadas.

5.5.4.4 Plano Diretor do Município de Marituba

O município de Marituba mostra uma seção específica para o meio ambiente em seu plano diretor, instituído pela Lei Municipal n° 170/07, de 25 de maio de 2007 (Marituba 2007). Algumas das diretrizes desta seção visam a viabilização do zoneamento ambiental e delimitação das áreas a serem protegidas no território do município. Não há especificação de áreas protegidas, excetuando-se as nascentes, rios e igarapés.

5.5.4.5 Plano Diretor do Município de Santa Bárbara do Pará

No plano diretor, instituído pela Lei Complementar n° 003, de 21 de setembro de 2006 (Santa Bárbara do Pará 2006), do município de Santa Bárbara do Pará, destaca-se a macrozona de preservação, que inclui: margens dos rios e igarapés, áreas do Parque GUNMA (cujo

polígono foi delimitado a partir de Fagundes *et al.* 2016), áreas de várzea e áreas de praias. Entretanto, não se especifica as proibições das áreas protegidas.

5.5.5 Aeroportos

Destacam-se os aeroportos do município de Belém:

a) Aeroporto Internacional de Belém – Val-de-Cans;
b) Aeroporto de Belém – Brigadeiro Protásio de Oliveira.

Sua presença neste mapa é justificada pelo caráter estável destes locais no espaço urbano.

No APÊNDICE E pode-se visualizar o Mapa de áreas institucionais e áreas de proteção ambiental da Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.6 MAPA EQUIPOTENCIOMÉTRICO DO AQUÍFERO LIVRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE F)

Esse mapa foi executado a partir de consultas à plataforma Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS – http://siagasweb.cprm.gov.br) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para compilação de dados sobre o nível de aquíferos livres da região. Os dados referentes aos poços com informação de teste de bombeamento foram transferidos para arquivo Excel. Separaram-se categorias de acordo com a confiabilidade da data do teste de bombeamento, levando em consideração fatores como: ausência de data e data repetitiva – como sequências de 01/01/ANO e variantes. Todos os dados com confiabilidade reduzida foram retirados do banco de dados, restando 858 pontos.

A segunda categorização dos dados foi feita com base em Tavares *et al.* (2011), cujos estudos acerca do balanço hídrico da cidade de Belém indicam: junho a novembro como período de retirada da água, com pico em outubro e novembro; dezembro a janeiro como período de reposição de água; janeiro a julho como período de excedente de água, com pico em março e abril. Separaram-se, portanto, três categorias: excedente, de janeiro a maio; transicional, de junho a agosto; e deficiente, de setembro a dezembro.

A tabela foi importada no ArcGIS 10.4 a partir da ferramenta *Add XY Data* e, posteriormente, os dados foram transformados em *shapefile.* As informações x e y correspondem à latitude e longitude, e z corresponde à profundidade do nível estático. Uma vez que áreas de várzea podem mostrar nível d'água 0 em relação à superfície em determinados períodos, estas foram excluídas do processamento de dados de poços da RMB. Isto foi feito pelo procedimento *Clip,* no qual o *shapefile* a ser cortado foi o dos dados de poços e o *shapefile*

utilizado para limitá-lo foi o de áreas de terra firme. Assim, a partir de interpolação com a ferramenta IDW, gerou-se um *raster* que foi reclassificado em três classes de profundidade do aquífero livre: Adequado (superior a 10 m), Razoável (entre 5 e 10 m), Inadequado (inferior a 5 m) e Muito Inadequado (inferior a 0,5 m e correspondente às áreas de várzea).

O mapa mostra incoerências resultantes do banco de dados (SIAGAS/CPRM), uma vez que:

a) Parte das datas dos testes de bombeamento são contestáveis. Encontrou-se um padrão de datas de 1 de janeiro de diversos anos em testes sequenciados, ou não, além de repetições de datas de dígitos repetidos (03/03, 07/07 etc.). Os dados de profundidade do nível d'água pertencentes aos poços cuja data é duvidosa foram retirados da análise.

b) Os pontos, correspondentes a poços catalogados, são concentrados em áreas urbanas e não têm distribuição espacial uniforme. Dessa forma, a informação gerada a partir de interpolação é distorcida pela maior concentração em locais específicos dos pontos analisados. Alguns locais (figura 14) foram classificados como "sem dados" pois não possuem poços para análise e não foram incluídos nos polígonos gerados por interpolação.

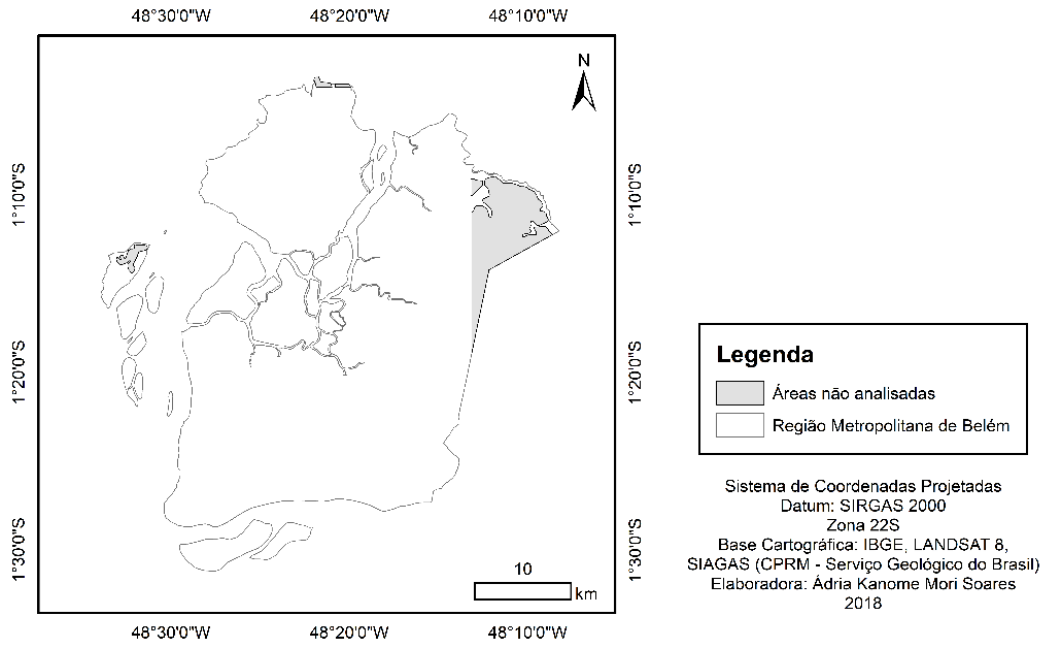

Figura 14 - Mapa de áreas não classificadas pela análise de poços da RMB.

Portanto, o dado mostra incoerência temporal e espacial, que influencia na distorção das isolinhas geradas por interpolação – e posteriormente convertidas para polígonos – e consequente falta de lógica na distribuição das áreas em comparações temporais. Isto é, quando são gerados mapas do nível equipotenciométrico do aquífero livre em períodos (figura 15)

selecionados de acordo com o balanço hídrico – períodos do ano nos quais há excedente de água no substrato, déficit ou nível transicional – ou mesmo mensalmente (figura 16).

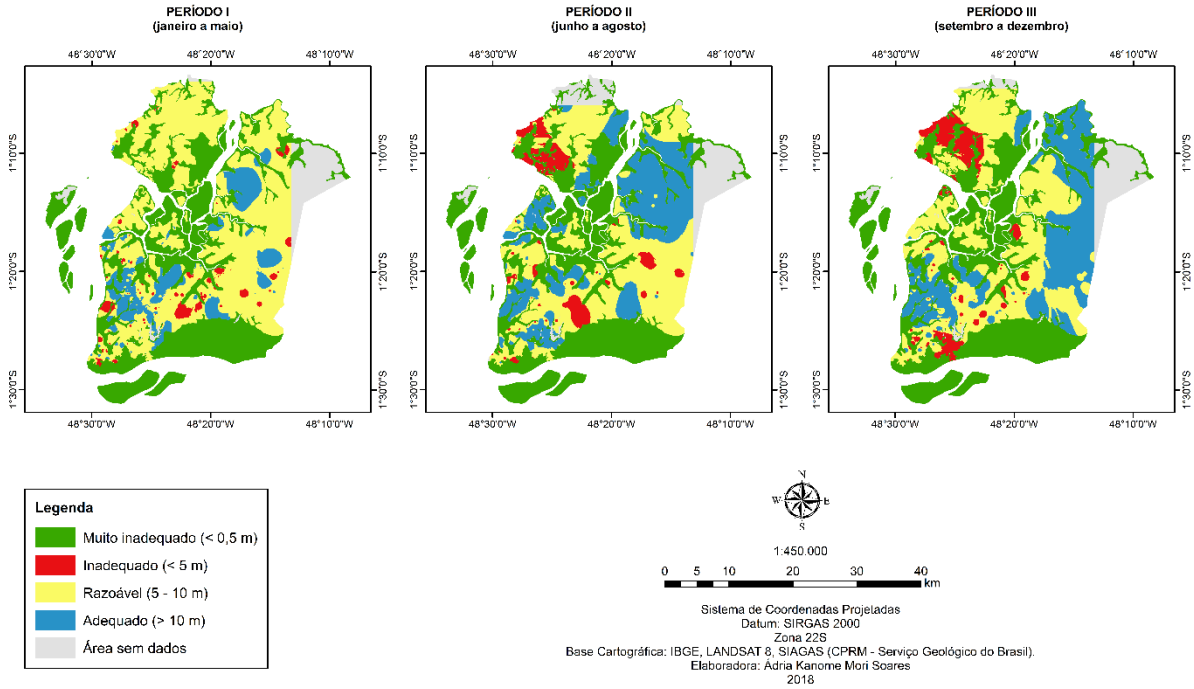

Figura 15 - Mapa de nível potenciométrico em três períodos na RMB.

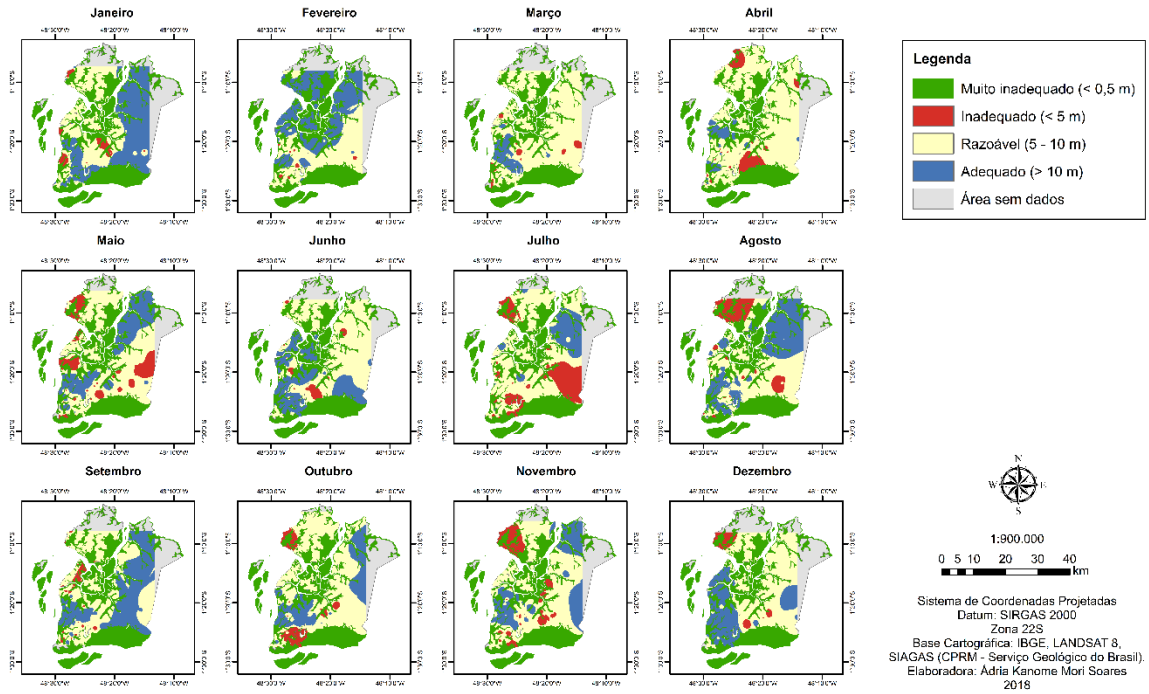

Figura 16 - Mapa de nível potenciométrico mensal na RMB.

Devido ao banco de dados com inconsistências temporais e espaciais, para melhorar o resultado da interpolação, acrescentou-se a base de dados de áreas de várzea e terra firme na

análise. Os pontos foram interpolados dentro da máscara do *shapefile* de área de terra firme. Isto porque se considera que área de várzea é uma área inundável e, portanto, tem nível d'água 0 em relação à superfície. Assim, a área de várzea também é inadequada, uma vez que representa porção inferior a 0,5m de profundidade do nível d'água.

No APÊNDICE F pode-se visualizar o Mapa de nível equipotenciométrico do aquífero livre da Região Metropolitana de Belém na escala 1:150.000 (escala original 1:50.000).

5.7 MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE G)

Este mapa foi elaborado com base na digitalização de polígonos correspondentes às bacias hidrográficas que compõem a Região Metropolitana de Belém a partir de mapa de delimitação de bacias hidrográficas da RMB e localização de aglomerados subnormais de Brandão & Ponte (2014). Os polígonos de bacias hidrográficas da RMB foram delimitados pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

São observadas 39 bacias hidrográficas, correspondentes a: Bacia do Una, Bacia do Cajé, Bacia do Paracuri, Bacia do Taicui, Bacia do Macajatuba, Bacia do Murubira, Bacia do Cajueiro, Bacia do Carananduba, Bacia do Ipixuna, Bacia do Irapara, Bacia do Murio-cu, Bacia do Tumacira, Bacia Furo do Maguari, Bacia do Itaiteua, Bacia Água Boa, Bacia do Marimari, Bacia das Marinhas, Bacia do Outeiro, Bacia do Ananin, Bacia do Maraizinho, Bacia do Maguari-Açu, Bacia do Arari, Bacia do Tucum, Bacia do Paricatuba, Bacia do Baiacu, Bacia do Tauá, Bacia do Santana, Bacia do Jacarequara, Bacia Mata Fome, Bacia de Val-de-Cães, Bacia de Benfica, Bacia do Reduto, Bacia Pau-Grande, Bacia do Aurá, Bacia do Murucutum, Bacia do Oriboquinha, Bacia do Tamandaré, Bacia do Tucunduba e Bacia da Estrada Nova.

Sua importância neste trabalho se dá pela diferença da capacidade de autodepuração do corpo receptor conforme a localização da área afetada – isto é, a área selecionada para construir aterros sanitários, por exemplo – em relação aos corpos d'água em suas proximidades. Quanto mais próximo de cursos de menor ordem e/ou de divisores d'água, menor a capacidade. Isto se justifica pelo menor volume d'água, aumentando a razão soluto/solvente.

No APÊNDICE G pode-se visualizar o Mapa de bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.8 MAPA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE H)

As microbacias foram traçadas com o auxílio dos *shapefiles* das curvas de nível e drenagem da área de estudo, das bacias hidrográficas de Belém (CODEM), das bacias hidrográficas da RMB (Cosanpa *apud* Brandão & Ponte 2014), das drenagens unifiliares e bifiliares e dos corpos d'água (lagos e igarapés). Posteriormente, os dados foram vetorizados no *software* ArcMap 10.3.

Os limites das microbacias hidrográficas respeitam os polígonos das bacias hidrográficas, uma vez que foram traçados dentro de suas delimitações. As microbacias correspondem a subdivisões desta unidade de divisão do terreno, levando em consideração os cursos d'água de menor expressão dentro do contexto regional, que eram reunidos em uma única bacia hidrográfica. Sua importância neste trabalho é correlata à de bacias hidrográficas, entretanto seu nível de detalhe é maior por indicar polígonos menores e mais específicos.

No APÊNDICE G pode-se visualizar o Mapa de microbacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém na escala 1:50.000.

5.9 MAPA DE DIREÇÃO DO VENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM (PA) (APÊNDICE I)

Esse mapa foi gerado a partir de consultas aos dados disponíveis online pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET – http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r= estacoes/estacoesautomaticas). Onde são disponibilizados os dados dos últimos 365 dias anteriores à data da consulta. Foram, portanto, coletados os dados de 18/04/2017 a 17/04/2018 da estação automática de Belém (Latitude: -1.411228º; Longitude: -48.439512º; Altitude: 21 metros). Os dados de direção do vento, dados em grau, foram convertidos nos intervalos da rosa dos ventos para facilitar seu processamento, com base na tabela:

Tabela 5 - Intervalos da rosa dos ventos em graus.

	Grau	MIN	MAX
N	0 / 360	338	22
NE	45	23	67
E	90	68	112
SE	135	113	157
S	180	158	202
SO	225	203	247
O	270	248	292
NO	315	293	337

Foi utilizada fórmula no Excel para otimizar a classificação, conforme exemplificado por Stagliorio Engenharia (2007) em fórum online:

=SE(OU(E(D15>=338;D15<=359);E(D15>=0;D15<=22));"N";PROCV(D15;$K$5:$M$12;3;
VERDADEIRO))

No qual D15 corresponde à célula contendo o dado de direção do vento e K:$M$12 corresponde ao intervalo que inclui as colunas mínimo, máximo e pontos cardeais/colaterais.

Modificou-se o ângulo 359° da fórmula, sendo este substituído por 360° para incluir os dados que apresentavam esta direção de vento. Isso se fez necessário pois esses dados apresentavam intervalo NO (NW) segundo a fórmula, mas na realidade deveriam apresentar o intervalo N. Portanto:

=SE(OU(E(D15>=338;D15<=360);E(D15>=0;D15<=22));"N";PROCV(D15;$K$5:$M$12;3;
VERDADEIRO))

A tabela Excel foi importada no *software* WRPLOT View, de modo a elaborar roseta de frequência, de acordo com metodologia explicada em vídeo por COLI (2016). Utilizaram-se os dados de dia, mês, ano, hora (UTC), velocidade do vento (m/s) e direção do vento (°). Foram geradas 13 rosetas, sendo uma correspondente ao período total e doze correspondentes aos meses do ano.

O mapa mostra doze *dataframes*, correspondentes aos meses de janeiro a dezembro, nos quais se observa a área de estudo, o raio de 30km em torno da estação automática do INMET e a respectiva roseta de direção e velocidade dos ventos.

A sobreposição da área de estudo pela roseta facilita a visualização da direção preferencial dos ventos no dado período. O raio de 30km é justificado pelo fato de que os dados

coletados na estação automática do INMET – localizada no município de Belém – podem ser extrapolados para até 30km sem prejuízo à sua confiabilidade.

Cada estação automática do INMET fornece dados de temperatura, umidade, orvalho, pressão, vento, radiação e chuva. É permitido o download dos últimos 365 dias a partir do dia da aquisição dos dados, sendo 24 medidas por dia. Neste trabalho, foram consideradas 8712 medidas com os atributos de chuva (mm), velocidade (m/s) e direção do vento (°), entre os dias 18/04/2017 e 17/04/2018.

O estudo da direção preferencial dos ventos é importante para a confecção da Carta de Áreas Potenciais à Instalação de Aterros Sanitários, uma vez que os mesmos geram gases malcheirosos como um dos produtos da decomposição dos resíduos sólidos. Os gases são objeto de incômodo por parte da população residente nas proximidades das instalações. E o vento é agente dispersor destes gases, podendo ser responsável de seu deslocamento sobre áreas ocupadas. Assim, a observação do local selecionado para sua instalação, comparando-se com as áreas ocupadas, é essencial para evitar desconfortos para a população.

No APÊNDICE I pode-se visualizar o Mapa de direção do vento na Região Metropolitana de Belém na escala 1:300.000 (escala original de 1:50.000).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho consiste na fase de pré-seleção, ou inventário, do processo de planejamento e escolha de locais aptos para instalação de aterros sanitários e cemitérios. Assim sendo, é importante ressaltar que as áreas representadas nas cartas geradas são adequadas segundo os parâmetros possíveis para análise a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Portanto, consiste em uma seleção de locais preliminares que, uma vez escolhidos para instalação de aterros sanitários, devem passar para a fase de pesquisa de campo em escala de maior detalhe. Recomenda-se, inclusive, estudos locais de nível d'água, uma vez que os dados utilizados mostram incoerências temporais e espaciais que diminuem sua confiabilidade.

A classificação de áreas potencialmente adequadas à instalação de aterros sanitários, considerando os critérios da ABNT (1992, 1997), do Código Florestal Brasileiro (2012) e Costa (2001), gerou quatro unidades. Estas são correspondentes a: áreas adequadas à instalação de aterros sanitários; áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, com restrições; áreas adequadas à instalação de aterros sanitários, sem dados de nível d'água; e áreas inadequadas à instalação de aterros sanitários.

A classificação de áreas potencialmente adequadas à instalação de cemitérios, considerando os critérios da Resolução CONAMA n° 368/2006 (Brasil 2006) e do Código Florestal Brasileiro (Brasil 2012), gerou cinco unidades. Estas são correspondentes a: áreas adequadas à instalação de cemitérios; áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições; áreas adequadas à instalação de cemitérios, sem dados de nível d'água; áreas adequadas à instalação de cemitérios, com restrições de pouco uso do solo; e áreas inadequadas à instalação de cemitérios.

A Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Aterros Sanitários na Região Metropolitana de Belém (PA), APÊNDICE A, e a Carta de Áreas Preferenciais à Instalação de Cemitérios na Região Metropolitana de Belém (PA), APÊNDICE B, fornecem subsídio ao poder municipal e/ou ao empreendedor, de modo que se faz possível localizar aterros sanitários e cemitérios em locais adequados. Se o local selecionado tiver restrições, este trabalho facilita a identificação de quais atributos são restritivos, permitindo uma melhor decisão – sendo a escolha de outro local com menos ou sem restrições, ou intervenções de engenharia ou autorizações ambientais, quando viável e/ou necessário.

REFERÊNCIAS

Abediniangerabi Bahram & Kamalirad Shirin. 2016. Landfill sitting using MCDM in Tehran Metropolitan. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, **10**(1):11-24. Disponível em: https://doi.org/10.4090/juee.2016.v10n1.011024. Acesso em: 31 de julho de 2018.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). 2015. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

Aguiar René Levy. 1989. *Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos - SP*: contribuição ao planejamento. DS Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 141p.

Aguiar René Levy. 1997. *Zoneamento geotécnico geral do distrito federal*: procedimentos metodológicos e sua inserção na gestão ambiental. TS Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 352p.

Ananindeua. Prefeitura Municipal. *Lei Municipal n°. 2.237/06*, de 06 de outubro de 2006. Institui o Plano Diretor do Município de Ananindeua e dá outras providências. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-ananindeua-pa. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1992. *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.* (ABNT.NBR 8419).

_____. 1997. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. (ABNT.NBR 13896).

_____. 2004. *Resíduos sólidos – classificação*. 2ª Edição. (ABNT.NBR 10004).

Barros Regina Mambeli. 2013. *Tratado sobre resíduos sólidos*: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais.

Belém. [Lei n° 7.539/1991]. 1991. *Cria o parque ecológico do município de Belém*. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/a/pa/b/belem/lei-ordinaria/1991/754/7539/lei-ordinaria-n-7539-1991-cria-o-parque-ecologico-do-municipio-de-belem. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Belém. [Lei Ordinária n° 7.747, de 2 de janeiro de 1995]. 1995. *Autoriza o poder executivo a criar o centro de referência em educação ambiental* – Escola Bosque "Professor Eidorfe Moreira", na ilha de Caratateua, distrito de Outeiro, município de Belém e dá outras providências. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/semaj/app/Sistema/view_lei.php?lei=7747&ano=1995&tipo=1. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Belém. [Lei n° 7.806, de 30 de julho de 1996]. 1996. *Delimita as áreas que compõem os bairros de Belém e dá outras providências*. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/segep/download/coletanea/txt_lei_bairros.htm. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Belém. Prefeitura Municipal. *Lei Municipal n°. 8.655*, de 30 de julho de 2008. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Belém, e dá outras providências. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/planodiretor/Plano_diretor_atual/Lei_N8655-08_plano_diretor.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

Benevides. Prefeitura Municipal. *Lei Municipal n°. 1.031/06*, de 11 de outubro de 2006. Dispõe sobre o ordenamento territorial do município de Benevides, e dá outras providências. Disponível em: http://www.sedurb.pa.gov.br/pdm/benevides/PDM_%20BENEVIDES.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

Born Cristiane Maria, Oliveira Cíntia Maria Ribas de, Cubas Selma Aparecida. 2014. Avaliação dos aspectos construtivos e vulnerabilidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios municipais de Curitiba (Paraná). *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **32**:88-105.

Brandão Ana Júlia D. das Neves & Ponte Juliano. 2014. Diretrizes Urbanísticas para um Plano de Drenagem na Região Metropolitana de Belém. *In: 3° Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. 2014. Belém: Universidade Federal do Pará.

Brasil. Assembleia Legislativa do Estado do Pará. [Lei complementar n°. 27, de 19 de outubro de 1995]. *Institui a Região Metropolitana de Belém e dá outras providências*. Belém: 1995.

Brasil. [Lei complementar n°. 14, 8 de junho de 1973]. 1973. *Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza.* Brasília: 1973.

Brasil. [Lei n. 6.902, de 27 de abril de 1981]. 1981. *Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências*. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6902-27-abril-1981-371587-normaatualizada-pl.html. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Brasil. [Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000]. 2000. *Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências*. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=322. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Brasil. [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010]. 2010. *Política nacional de resíduos sólidos* (recurso eletrônico). 2 ed. Brasília, Câmara dos Deputados, Edições Câmara. 73 p. Série legislação, n. 81.

Brasil. [Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012]. 2012. *Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.* Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 8 de março de 2018.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 001 de 23 de janeiro de 1986*. Brasília: CONAMA, 1986.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 004 de 09 de outubro de 1995*. Brasília: CONAMA, 1995.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 335 de 2003*. Brasília: CONAMA, 2003.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 368 de 2006*. Brasília: CONAMA, 2006.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 402 de 2008*. Brasília: CONAMA, 2008.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução n°. 486 de 04 de abril de 2018*. Brasília: CONAMA, 2018.

Braz Vera, Beckmann Lúcia, Silva Lúcia Costa e. 2000. Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. *In:* 1st Joint World Congress on Groundwater. 2000. *Anais*… Fortaleza.

Campos Ana Paula Silva. 2007. *Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo.

Costa Tony Carlos Dias da. 2001. *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando formulação de diretrizes para a cartografia no trópico úmido e aplicação na Região Metropolitana de Belém, Escala 1:50.000.* Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências.

Costa Tony Carlos Dias da, Gandolfi Nilson, Costa Jamer Andrade da. 2002. Carta de áreas preferenciais à instalação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém, na escala 1:50.000. *In:* 10° Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2002. Ouro Preto. *Anais...* 1 CD-ROM.

Cunha Márcio Angelieri & Consoni Ângelo José. 1995. Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. *In:* Bitar Omar Yazbek (Org.). 1995. *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia. (Série Meio Ambiente).

Elk Ana Ghislane & Henriques Pereira van. 2007. *Redução de emissões na disposição final.* Rio de Janeiro, IBAM. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023918.pdf. Acesso em: 3 de outubro de 2018.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). 2018. *Brasil em relevo.* Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/. Acesso em: 14 de abril de 2018.

Fagundes Daniele Nunes, Tavares-Martins Ana Cláudia Caldeira, Ilkiu-Borges Anna Luiza, Moraes Eryka de Nazaré Rezende, Santos Rita de Cássia Pereira dos. 2016. Riqueza e aspectos ecológicos das comunidades de briófitas (Bryophyta e Marchantiophyta) de um fragmento de Floresta de Terra Firme no Parque Ecológico de Gunma, Pará, Brasil. *Iheringia, Série Botânica*, **71**(1):72-84. Disponível em: https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/490. Acesso em: 5 de outubro de 2018.

Felicori Thaís de Carvalho, Marques Eduardo Antonio Gomes, Silva Tatiana Quintão, Porto Bárbara Batista, Bravin Tamila Caliman, Santos Kássia Mara Cota. 2016. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. *Eng Sanit Ambient*, **21**(3):547-560. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146258. Acesso em: 24 de janeiro de 2018.

Figueiredo Andrei B. de, Dias Érika Regina França, Almeida Fabiola Magalhães de, Matta Milton Antonio da Silva. 2004. Estudos hidrogeológicos da bacia hidrográfica do Tucunduba, Região Metropolitana de Belém/PA. *In:* XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004. *Anais*... Cuiabá.

Franco Gustavo Barreto, Marques Eduardo Antonio Gomes, Calijuri Maria Lucia, Gomes Ronaldo Lima. 2010. Cartografia Geotécnica: estágio atual do conhecimento. *Caminhos de Geografia*, **35**(11):158-172. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16134. Acesso em: 25 de julho de 2017.

Gbanie Solomon Peter, Tengbe Paul Bobby, Momoh Jinnah Samuel, Medo James, Kabba Victor Tamba Simbay. 2013. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, **36**:3-12.

Góes Ana Maria, Rosseti Dilce de Fátima, Nogueira Afonso César Rodrigues, Toledo Peter Mann de. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do estado do Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi*. Sér. Ciências da Terra, **2**: 3-15, Dez.

Instituto Avaliação Pesquisas (IA). Programas E Projetos Socioambientais; Ideflor-Bio, Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará 2018. *Plano de Gestão da Unidade de Conservação "Refúgio de Vida Silvestre Metrópole da Amazônia (REVIS)"*, Contrato Ia/Ideflor-Bio (no. 033/2016 - Etapa 7). Brasília - DF. 400p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. *Número de municípios por UF - 1872-2010.* Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/municipios_1872_1991/Documentacao/. Acesso em: 20 de julho de 2018.

Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (IDEFLOR-BIO). 2017. *Área de proteção ambiental da região metropolitana de Belém.* Disponível em: http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao/regiao-administrativa-de-belem/area-de-protecao-ambiental-da-regiao-metropolitana-de-belem/. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará (IDEFLOR-BIO). 2017. *Unidades de conservação.* Disponível em: http://ideflorbio.pa.gov.br/unidades-de-conservacao. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2018. *Estações automáticas*. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas. Acesso em: 21 de abril de 2018.

Kemerich Pedro Daniel da Cunha, Bianchini Débora Cristina, Fank Julia Caroline, Borba Willian Fernando de, Weber Diego Polonia, Ucker Fernando Ernesto. 2014. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. *Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas*, Edição Especial LPMA/UFSM, **13**(5):3777-3785. Disponível em:

https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/download/14506/pdf. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

Kemerich Pedro Daniel da Cunha, Borba Willian Fernando de, Silva Rodrigo Ferreira da, Barros Guilherme, Gerhardt Ademir Eloi, Flores Carlos Eduardo Balestrin. 2012. Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério. *Revista Ambi-Água*, Taubaté, **7**:140-156. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n1/ v7n1a12.pdf. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

Leli Isabel Teresinha, Zaparoli Fabiana Cristina Meira, Santos Vanessa Cristina dos, Oliveira Meyre, Reis Fábio Augusto Gomes Vieira. 2012. Estudos ambientais para cemitérios: indicadores, áreas de influência e impactos ambientais. *Bol. Geogr.*, **30**(1):45-54. Disponível em: http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i1.16348. Acesso em: 1 de outubro de 2017.

Lopes Rebeca Silva Nunez. 2015. *Transformações recentes no uso e dominialidade das áreas das forças armadas no cinturão institucional de Belém*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, 139p.

Marituba. Prefeitura Municipal. *Lei Municipal n°. 170/07*, de 25 de maio de 2007. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município de Marituba, o sistema e o processo de planejamento e gestão do desenvolvimento urbano. Disponível em: http://www.camaramarituba.pa.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/LM-2007-170310.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

Martins Maria Therezinha, Pellizari Vivian H., Pacheco Alberto, Myaki Débora M., Adams Cristina, Bossolan Nelman R. S., Mendes José M. B., Hassuda Seiju. 1991. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. *Rev. Saúde Públ*., **25**(1):47-52.

Matos Bolivar Antunes. 2001. *Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo*. TS Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 172p.

Matula M., Radbruch Dorothy H., Dearman W. R. 1970. Report of the first meeting of the IAEG working group on engineering geological mapping, September 10 and 11, 1970, Paris. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. **3**(1):3-6. Disponível em: https://doi.org/10.1007/BF02635389. Acesso em: 23 de julho de 2018.

Morales G. P. 2002. *Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá.* Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências.

Oliveira José Guilherme Ferreira de & Silva Regina Célia dos Santos. (orgs.) 2011. *Geologia e recursos minerais da Folha Belém - SA.22-X-D-III, Estado do Pará, Escala 1:100.000*. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém.

Pará. *Decreto Estadual n°. 1.329*, de 2 de outubro de 2008. Altera o Decreto Estadual n° 1.551, de 3 de maio de 1993, que dispõe sobre a Implantação da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém – APA Belém, e dá outras providências. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/2008/10/02/9707/. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Pará. [Lei Estadual n°. 6.083, de 13 de novembro de 1997]. 1997. *Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Ilha do Combú no Município de Belém*. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/1997/11/13/9776/. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. 2013. *Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga.* Belém: SEMA; Belém: IMAZON. Disponível em: http://ideflorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2014/10/PMUtinga_26out2013.pdf. Acesso em: 19 de outubro de 2018.

Prefeitura de Belém. 2018a. *Parque municipal da ilha de Mosqueiro*. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/c2ms/v/?id=10&conteudo=2714. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

Prefeitura de Belém. 2018b. *Unidades de conservação (Parques Naturais Municipais)*. Disponível em: http://www.belem.pa.gov.br/app/c2ms/v/?id=18&conteudo=4757. Acesso em: 14 de abril de 2018.

Reis Fábio Augusto Gomes Vieira. 2001. *Curso de Geologia Ambiental via Internet.* Disponível em: http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/. Acesso em: 24 de julho de 2018.

Rossetti D.F. & Góes A.M. 2004. Geologia. *In:* Rossetti D.F. & Góes A.M. (eds.). *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém, Editora do Museu Emílio Goeldi, p. 13-52. (Coleção Friederich Katzer).

Rossetti Dilce de Fátima. 2006. *Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão.* São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Centro de Observação da Terra, Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). Disponível em: sid.inpe.br/ePrint@80/2006/07.31.20.55. Acesso em: 11 de abril de 2015.

Salhofer Stefan, Obersteiner Gudrun, Schneider Felicitas, Lebersorger Sandra. 2008. Potentials for the prevention of municipal solid waste. *Waste Management* **28**:245-259. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.026. Acesso em: 31 de julho de 2018.

Santa Bárbara do Pará. Prefeitura Municipal. *Lei Municipal n°. 003*, de 21 de setembro de 2006. Institui o Plano Diretor do Município de Santa Bárbara do Pará e dá outras providências. Disponível em: http://www.sedurb.pa.gov.br/pdm/santa_barbara/PD_SANTA_BARBARA.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2018.

Santos Izaias Nascimento dos, Horbe Adriana Maria Coimbra, Silva Maria do Socorro Rocha da, Miranda Sebastião Átila Fonseca. 2006. Influência de um aterro sanitário e de efluentes domésticos nas águas superficiais do Rio Tarumã e afluentes - AM. *Acta Amazonica,* **36**(2) 2006: 229 - 236.

Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS). 2018. Downloads. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/documentos/downloads/. Acesso em: 19 de fevereiro de 2018.

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. 2018. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br. Acesso em: 24 de janeiro de 2018.

Silva Alexandre Donato da & Pinheiro Eduardo da Silva. 2010. A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas. *Sociedade & Natureza,* **22**(2):297-312.

Silva Robson Willians da Costa & Malagutti Filho Walter. 2008. Cemitérios como Áreas Potencialmente Contaminadas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, **9**:26-35.

Sousa Mauro César de Brito, Castro Marco Aurélio Holanda de, Monteiro Cleto Augusto Baratta, Pessoa Germana de Paiva, Souza Claudio Damasceno de. 2015. Estudo da contaminação do aquífero próximo ao cemitério Areias, Teresina/PI, Brasil. *Brazilian Geographical Journal*: Geosciences and Humanities research medium, **6**(1):41-57.

Souza Íris de Marcelhas e. 2012. *Sensoriamento remoto orbital aplicado a estudos urbanos*. São José dos Campos, INPE. Disponível em: sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.28.13.46-PUD. Acesso em: 17 de março de 2018.

Stagliorio Engenharia. 2007. *Rosa dos ventos em excel*. Mantida Pela Comunidade Hardware, Brasil. Disponível Em: https://www.hardware.com.br/comunidade/ventos-rosa/716288/. Acesso Em: 17 de abril de 2018.

Tavares A. L., Medeiros R. Mainar, Gomes L. C. F., Macedo M. J. H., Silva, V. P. R. 2011. Utilização do balanço hídrico como ferramenta ao planejamento de melhoria de vida no meio urbano para a cidade de Belém - Pa. *In:* 4º Simpósio Internacional de Climatologia. Sic, 2011, João Pessoa - PB. Impacts Of Climate Change On Urban Areas, 2011.

Tressoldi Marilda & Consoni Ângelo José. 1998. Disposição de Resíduos. *In:* Oliveira, Antonio Manoel dos Santos; Brito, Sérgio Nertan Alves de. 1998. *Geologia de Engenharia.* São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

Vasquez M.L., Sousa C.S., Carvalho J.M.A. (Orgs.). 2008. *Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000.* Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém.

Vilhena André. (org.) 2018. *Lixo municipal*: manual de gerenciamento integrado. 4ª Ed. São Paulo (SP): CEMPRE, 2018. 316p. Disponível em: http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 30 de julho de 2018.

Zuquette Lázaro V. 1993. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico*: fundamentos e guia para elaboração. TS Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 369p.

Zuquette Lázaro V. & Gandolfi Nilson. 2004. *Cartografia geotécnica.* São Paulo, Oficina de Textos.

Zuquette Lázaro Valentim & Nakazawa Valdir Akihiko. 1998. Cartas de geologia de engenharia. *In:* Oliveira Antonio Manoel dos Santos & Brito Sérgio Nertan Alves de. 1998. *Geologia de engenharia*. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. p. 283-300.

APÊNDICE

APÊNDICE A - (CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE B - (CARTA DE ÁREAS PREFERENCIAIS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE C - (MAPA DE ÁREA URBANA E EXPANSÃO URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE D - (MAPA DE ÁREAS DE TERRA FIRME E DE VÁRZEA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE E - (MAPA DE ÁREAS INSTITUCIONAIS E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE F - (MAPA EQUIPOTENCIOMÉTRICO DO AQUÍFERO LIVRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:150.000)

APÊNDICE G - (MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE H - (MAPA DE BACIAS MICROHIDROGRÁFICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:50.000)

APÊNDICE I - (MAPA DE DIREÇÃO DO VENTO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – PA, NA ESCALA DE 1:300.000)