



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

HERMES DIAS BRITO

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE
ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE
SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO-SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Câmpus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio A. G. V. Reis

Rio Claro - SP

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

HERMES DIAS BRITO

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE
ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE
SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO-SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio A. G. V. Reis

Rio Claro - SP

2016

624.151 Brito, Hermes Dias

B862m Mapeamento geoambiental como subsídio à seleção de áreas para implantação de centrais de tratamento de resíduos sólidos urbanos: aplicação ao município de Santa Cruz da Conceição-SP / Hermes Dias Brito. - Rio Claro, 2016
156 f. : il., figs., gráfs., quadros

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

1. Geologia de engenharia. 2. Ordenamento territorial sustentável. 3. Análise multicriterial. 4. Estudo de alternativas locacionais. I. Título.

HERMES DIAS BRITO

MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO À SELEÇÃO DE
ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CENTRAIS DE TRATAMENTO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: APLICAÇÃO AO MUNICÍPIO DE
SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO-SP

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas do
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Vania Silvia Rosolen

Wilson José De Oliveira

Ü^• |ca[KÜÜXÖÜ

Rio Claro (SP), 7 de Dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos à Universidade Estadual Paulista, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente e aos professores Dr. Juércio Tavares de Mattos, Dr. José Ricardo Sturaro, Dr. José Eduardo Zaine, Dra. Paulina Setti Riedel, Dr. George Luiz Luvizotto, Dr. Edgardo Manuel Latrubesse, Dr. Paulo Milton Barbosa Landim e Dr. Andréia Medinilha Panher, com os quais tive a honra de aprender e conviver durante as disciplinas cursadas.

Agradeço à Rosângela Vacello e a toda equipe da seção técnica de pós-graduação da Unesp de Rio Claro.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis pela paciência e auxílio prestado desde a etapa de delimitação do tema da pesquisa até a fase de obtenção dos resultados e discussões finais do trabalho.

Agradeço aos professores Dr. Marcus Cesar Avezum Alves de Castro e Dra. Vânia Silvia Rosolen por contribuições fundamentais na fase de qualificação.

Agradeço à minha querida Claudia Vanessa dos Santos Corrêa, Mestre e Ecóloga, pela colaboração na realização desta dissertação, incluindo discussões, auxílio com a fundamentação teórica, dicas de geoprocessamento e nas correções ortográficas e gramaticais.

Agradeço ao meu pai Dimas Dias Brito pelo auxílio na melhora da comunicação científica do trabalho.

Agradeço ao Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo (UNESP-IGCE-UNESPetro) por ter cedido toda a infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa e a equipe da administração do centro: José Maria Cazonatto, Rodrigo Goya, Fabiana Ruiz Y. Garcia Rissi e Deryk Biotto.

Agradeço ao amigo Flávio Henrique Rodrigues, Engenheiro Ambiental, pelos dados disponibilizados referentes à Bacia do Ribeirão do Roque.

Ao Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto e ao Geólogo Dr. Wilson José de Oliveira por terem colaborado na definição do objeto de pesquisa.

Agradeço ao amigo Deryk Willyan Biotto e ao geólogo Filipe Giovanini Varejão que me auxiliaram, respectivamente, na aquisição das imagens de satélite da área de estudo e na geração do diagrama de roseta com frequências e direções dos ventos.

Agradeço por fim, à minha mãe Ana, às minhas irmãs Luisa e Nara, ao meu irmão Túlio. À Ivonete do Espírito Santo pelo auxílio essencial com as tarefas domésticas. E a todos os meus amigos. A todos sou grato pelos auxílios e amizade inestimáveis, com os quais tenho a honra do convívio.

Deixo registrado, ainda, minha gratidão à cidade de Rio Claro, onde, desde 1989, tenho tido oportunidades de aprendizagem e de grandes amizades.

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico e a implantação de Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRSs), incluindo aterros sanitários, podem conduzir a soluções favoráveis ao processo de tratamento e recuperação de resíduos sólidos urbanos e disposição final de rejeitos. Estas instalações podem agrupar diversas tecnologias em um único sistema, cujo funcionamento leva à economia de energia e redução de gastos com transporte, o que pode redundar em um balanço energético positivo. Todavia, se mal planejada, a implantação e funcionamento das CTRSs podem causar impactos ambientais negativos aos recursos hídricos, ar atmosférico e à saúde dos seres vivos, em particular da população humana. Por isso, as fases de planejamento e implantação devem estar em consonância com o processo de Avaliação de Impacto Ambiental, sendo indispensável a realização de estudos para a seleção de áreas ambientalmente compatíveis com o seu funcionamento. Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir o desenvolvimento de um mapeamento geoambiental voltado à seleção adequada de áreas para a implantação de CTRSs, tendo como foco de aplicação o pequeno município paulista de Santa Cruz da Conceição, que apresenta expressiva inconformidade ambiental em relação à gestão dos resíduos sólidos e destinação final dos rejeitos; em torno dele, num raio de 100 km, vive uma população de cerca de 7,4 milhões de pessoas. A integração de informações obtidas com o levantamento bibliográfico efetuado, a geração de banco de dados (incluindo fatores físicos, biológicos e sócio-econômicos) e a análise multicriterial em ambiente SIG conduziram à elaboração do referido mapeamento. Este teve como base fundamental estudo prévio de compartimentação fisiográfica da região do município, levando-se em conta principalmente os aspectos de permeabilidade, resistência a erosão e estabilidade a movimentos gravitacionais, que foram integrados com dados de fragmentos de vegetação, declividade, áreas de gerenciamento de risco aviário de aeródromos regionais, informações do plano diretor municipal e normas técnicas e legais. Entre os resultados obtidos com o trabalho, destaca-se, centralmente, a definição de áreas propícias à implantação de CTRSs, incluindo incineradores, e de aterros sanitários em valas e em camadas. Áreas incompatíveis para estas ações também foram reconhecidas. Este estudo oferece elementos para discussões e tomadas de decisão ligadas ao processo de implantação de Centrais de Tratamento de Resíduos e empreendimentos a elas associados, sendo aplicável a outros municípios brasileiros. É, portanto, contribuição para a estruturação de um ordenamento territorial sustentável.

Palavras-chave: Ordenamento Territorial Sustentável, Central de Tratamento de Resíduos Sólidos, Mapeamento Geoambiental, Análise Multicriterial, Estudo de Alternativas Locacionais.

ABSTRACT

Technological development and Solid Waste Treatment Plants (SWTPs), including landfills, may lead to good solutions to the process of treatment and recovery of urban solid waste. These facilities can group various technologies into a single system, whose operation leads to energy savings and reduction of transportation costs, which may result in a positive energy balance. However, if not properly planned, the setting up and operation of SWTPs can cause negative environmental impacts to water resources, atmospheric air and the health of living beings, in particular the human population. Therefore, the phases of planning and setting up of a SWTP should be in line with the process of Environmental Impact Assessment, and it is essential to carry out studies for the selection of environmentally compatible areas of functioning. This study presents and discusses the development of a geo-environmental mapping focused on the proper selection of areas for the implementation of SWTPs, with the application focus on the municipality of Santa Cruz da Conceição, a small town in the state of São Paulo, which presents significant environmental nonconformity in relation to management solid waste and disposal of waste; around it, within a radius of 100 km, lives a population of about 7.4 million people. The integration of information obtained from the literature performed, the generation of database (including physical, biological and socio-economic elements) and multi-criteria analysis in GIS environment led to the preparation of this mapping. This work had as fundamental element a previously established physiographic subdivision of the area, and took into account mainly the aspects of permeability, erosion resistance and stability to gravitational movements; these parameters have been integrated with information on fragments of vegetation, declivity, poultry risk management areas in regional aerodromes, information on director municipal plan, and legal and technical standards. Among the results obtained from this work, there is, centrally, the definition of areas for setting up a SWTP, including incinerators and landfills (in ditches and in layers). Incompatible areas for these actions were also recognized. This study provides elements for discussion and decision-making related to the implementation process of waste treatment plants and projects associated with them, being applicable to other municipalities. It is therefore contributing to the structuring of a sustainable land use.

Keywords: Sustainable Land Management, Solid Waste Treatment Center, Geoenvironmental mapping, Multicriteria Analysis, Locational Alternatives Study.

LISTA DE SIGLAS

AGRA – Área de Gerenciamento do Risco Aviário
AHP – *Analitical Hierarchy Process*
AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
APA – Área de Proteção Ambiental
APP – Áreas de Preservação Permanente
BIT - *Binary digit* (dígito binário)
CAR - Cadastro Ambiental Rural
CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNUC – Cadastro Nacional de Unidades de Conservação
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTRS – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DATUM – dado (latim)
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GEE – Gases de Efeito Estufa
IAC – Instituto Agrônômico de Campinas
IAP - Índice de qualidade das águas brutas para fins de abastecimento público
IB - Índice de balneabilidade relacionado à qualidade das águas para lazer
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICB - Índice de Comunidade Bentônica
ICF - Índice de Comunidade Fitoplanctônica
ICTEM - Indicador de coleta e proporção de tratamento de esgoto da população urbana
ICZ - Índice de Comunidade Zooplanctônica
IDHM - Índice Desenvolvimento Humano
IET - Índice do Estado Trófico
IG – Instituto Geológico
IGR – Índice de Gestão de Resíduos
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC - *International Panel on Climate Change*
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IQA – Índice de Qualidade das Águas

IQC – Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem
IQG – Índice de Qualidade de Gestão de Resíduos Sólidos
IQR - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos
IVA - Índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática
LI – Licença de Instalação
LO – Licença de Operação
LP – Licença Prévia
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MNT - Modelo Numérico do Terreno
NASA - *National Aeronautics and Space Administration*
NEPA – *National Environmental Policy Act*
PBGRA – Plano Básico de Gerenciamento de Risco Aviário
PIXEL - *Picture e Element*
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes
PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RASTER – Mapa de bits
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SIG – Sistemas de Informação Geográfica
SMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
TMB - Tratamento Mecânico Biológico
UC – Unidade de Conservação
UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (*United Nations Environment Programme*)
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UTM – Universal Transversa de Mercator

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice de Gestão de Resíduos dos Municípios do Estado de São Paulo. ..	16
Figura 2. Aspectos demográficos e localização de Santa Cruz da Conceição	18
Figura 3. Modelo conceitual para coleta e transporte de resíduos.	26
Figura 4. Exemplo de sistema de triagem ocorrido no local de geração do resíduo...	27
Figura 5. Central de triagem de resíduos sólidos urbanos em uma unidade de reciclagem em Madri, Espanha	27
Figura 6. Triagem manual de resíduos sólidos urbanos.	28
Figura 7. Central de triagem para o manejo de resíduos de construção civil em Santo Ângelo, no Rio Grande do Sul.....	28
Figura 8. Ilustração das opções potenciais no Tratamento Mecânico-Biológico (TMB).	30
Figura 9. Digestão anaeróbia da matéria orgânica.	33
Figura 10. Principais etapas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA)	45
Figura 11. Interações técnicas entre o aterro sanitário e o meio ambiente	50
Figura 12. Metodologia do IG (1999) para seleção de áreas aptas para a implantação de aterros sanitários.	58
Figura 13. Fluxograma das etapas deste trabalho.	59
Figura 14. Representação matemática da declividade.	67
Figura 15. Exemplos de delimitação de fragmentos de vegetação	70
Figura 16. Corredores dos ventos principais que sopram na região de Santa Cruz da Conceição (área central da figura) e núcleos populacionais próximos, que foram levados em conta na escolha de áreas para implantação do incinerador e demais módulos da central de tratamento de resíduos sólidos.	78
Figura 17. Metodologia para seleção de áreas destinadas à implantação de aterros sanitários em valas e em camadas	80
Figura 18. Metodologia para seleção de áreas destinadas a implantação de incineradores e demais módulos da CTRSS.	81
Figura 19. Localização da área de estudo.	83
Figura 20. Mapa de uso e ocupação da Bacia do Ribeirão do Roque.....	86
Figura 21. Mapa dos remanescentes florestais de Santa Cruz da Conceição.. ..	87
Figura 22. Áreas de Preservação Permanente voltadas à proteção dos recursos hídricos.....	88
Figura 23. Malha de transporte terrestre no município de Santa Cruz da Conceição.	90
Figura 24. Aeródromos mais próximos de Santa Cruz da Conceição e suas respectivas áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRA).	91
Figura 25. Macrozonas Urbana e Rural de Santa Cruz da Conceição.	93
Figura 26. Área destinada à expansão urbana do município de Santa Cruz da Conceição (SP).	94
Figura 27. Áreas de interesse especial ambiental, turístico e de paisagem edificada do município de Santa Cruz da Conceição (SP).	95

Figura 28. Zonas especiais de interesse industrial do município de Santa Cruz da Conceição (SP).	96
Figura 29. Temperaturas e pluviosidade ao longo do ano no município de Santa Cruz da Conceição (SP).	98
Figura 30. Ponto de monitoramento de qualidade de água da Cetesb na foz do Ribeirão do Roque.....	101
Figura 31. Represa Euclides Morelli e a área urbana de Santa Cruz da Conceição.	103
Figura 32. Unidades aquíferas do Estado de São Paulo.	104
Figura 33. Mapa das Áreas de Recarga de Aquíferos local.	106
Figura 34. Mapa geológico da Bacia do Ribeirão do Roque.....	108
Figura 35. Formas de relevo da Bacia do Ribeirão do Roque.	110
Figura 36. Mapa com classes de declividade município de Santa Cruz da Conceição (SP)	111
Figura 37. Mapa hipsométrico do município de Santa Cruz da Conceição (SP).	112
Figura 38. Mapa Pedológico do Município de Santa Cruz da Conceição (SP) – Escala 1:150.000. Conforme IAC (2005).	113
Figura 39. Unidades de compartimentação fisiográfica. Legenda com informações pedológicas para algumas unidades fisiográficas do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Escala de mapeamento 1:50.000.....	115
Figura 40. Mapa de Permeabilidade de Santa Cruz da Conceição (SP).....	116
Figura 41. Mapa de resistência à erosão da região do município de Santa Cruz da Conceição (SP).	117
Figura 42. Mapa de processos de dinâmica superficial ocorrentes no município de Santa Cruz da Conceição (SP)..	118
Figura 43. Mapa de Compartimentação Fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque.	119
Figura 44. Caracterização da unidade fisiográfica I.....	121
Figura 45. Caracterização da unidade fisiográfica III.....	122
Figura 46. Caracterização da unidade fisiográfica VI.	123
Figura 47. Caracterização da unidade fisiográfica VII.	124
Figura 48. Caracterização da unidade fisiográfica VIII.	125
Figura 49. Caracterização da unidade fisiográfica IX.	126
Figura 50. Caracterização da unidade fisiográfica X..	127
Figura 51. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Aterro em Camadas no município de Santa Cruz da Conceição (SP).	136
Figura 52. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Aterro em Valas no município de Santa Cruz da Conceição (SP).	137
Figura 53. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Incineradores no município de Santa Cruz da Conceição (SP).	138
Figura 54. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Incineradores e direção dos ventos no município de Santa Cruz da Conceição (SP).	139
Figura 55. Locais preferenciais para implantação de aterros e unidades da CTRS.	140

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição dos projetos por tipo de resíduo e principais tecnologias utilizadas para o tratamento e recuperação dos resíduos sólidos urbanos no mundo..	24
Gráfico 2. Evolução Média do IDHM de Santa Cruz da Conceição perante outros IDHM entre 1991 e 2010	84
Gráfico 3. Distribuição das classes de uso e ocupação da terra no município de Santa Cruz da Conceição - SP no ano 2000.	85
Gráfico 4. Diagrama de rosetas com frequências de direção de ventos..	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Composição média do biogás proveniente de resíduos orgânicos.....	31
Quadro 2. Equivalência energética entre 1 m ³ de biogás e outras fontes energéticas.	32
Quadro 3. Principais características dos reatores anaeróbios.....	34
Quadro 4. Principais características das tecnologias de conversão energética do biogás.....	34
Quadro 5. Problemas socioambientais induzidos pela instalação não-criteriosa de aterros sanitários.....	47
Quadro 6. Critérios técnicos para instalação de incineradores.....	52
Quadro 7. Critérios adotados para análise, fotointerpretação geomorfológica e geológica e delimitação das unidades fisiográficas.....	65
Quadro 8. Valoração numérica para análise multicriterial das unidades de compartimentação fisiográfica.....	74
Quadro 9. Valoração numérica para as áreas de gerenciamento de risco aviário.	75
Quadro 10. Valores dos planos de informação dos mapas com fragmentos de vegetação, com a declividade para aterro em camadas e em valas, de APP, Área Urbana e de Interesse Ambiental, Turístico, da Zona Industrial e da Paisagem Edificada.....	75
Quadro 11. Valoração das classes dos planos de informação para análise multicriterial voltada à escolha de locais para implantação de incineradores e demais módulos da CTRS.	76
Quadro 12. Descrição de Índices de Qualidade das Águas.	101
Quadro 13. Variáveis monitoradas no Ribeirão do Roque entre 2009 e 2014.....	102
Quadro 14. Categorias e faixas de classificação dos índices de qualidade de água. Em destaque (retângulo preto) as categorias registradas em 2013 e 2014 no Ribeirão do Roque.....	102
Quadro 15. Descrição da legenda do Mapa Pedológico (Figura 38)..	114
Quadro 16. Caracterização geológica-geotécnica das unidades fisiográficas da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	120
Quadro 17. Potencialidade de aptidão das classes frente aos diferentes empreendimentos possivelmente existentes na CTRS.....	131

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. Política Nacional dos Resíduos Sólidos	20
2.2. Panorama Mundial das tecnologias de tratamento e recuperação dos resíduos sólidos e aterramento final de rejeitos.....	23
2.2.1. Tecnologias aplicadas ao tratamento e recuperação de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos	24
2.3. A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)	41
2.3.1. Estudos de alternativas locais para implantação de aterros sanitários e incineradores	46
2.3.2. Metodologias para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários	53
3. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA	59
3.1. Definição do tema de pesquisa e seleção da área de estudo	59
3.2. Revisão bibliográfica	60
3.3. Análise da área de estudo	61
3.4. Levantamento e aquisição dos materiais cartográficos e de Sensoriamento Remoto	61
3.5. Geração de banco de dados georreferenciados	61
3.5.1. Compartimentação fisiográfica	63
3.5.2. Mapa Pedológico	67
3.5.3. Mapa de declividade	67
3.5.4. Mapa hipsométrico.....	68
3.5.5. Mapa hidrográfico	69
3.5.6. Mapa das áreas de recarga de aquíferos	69
3.5.7. Áreas de Preservação Permanente.....	69
3.5.8. Mapa dos remanescentes florestais do ano de 2015	70
3.5.9. Infraestrutura de Transporte e Áreas de Gerenciamento de Risco Aviário.....	71
3.5.10. Avaliação do uso e cobertura do solo.....	71
3.5.11. Mapa da atual área urbana e de expansão urbana de Santa Cruz da Conceição e de aglomerados humanos regionais	71

3.5.12.	Mapa com áreas de interesse expressas no Plano Diretor Municipal	72
3.5.13.	Mapa Regional de Densidade Demográfica	72
3.5.14.	Mapa da qualidade da gestão dos resíduos sólidos do Estado de São Paulo	72
3.6.	Avaliação da potencialidade de aptidão das áreas	72
3.7.	Análise Multicriterial	73
3.7.1.	Ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica – <i>Esri ArcMap 10.1</i>)	73
3.7.2.	Avaliação dos resultados e reestruturação de critérios	77
3.8.	Geração de Mapas de Potencialidade para Aterros e Incineradores	77
3.9.	Avaliação do Uso e Ocupação dos Solos, Indicação de Locais Preferenciais para Implantação de Aterros e Avaliação das Direções Principais dos Ventos	77
3.10.	Mapas Geoambientais Finais e Indicação de Locais Preferenciais para Implantação de aterros e CTRSS	79
4.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	82
4.1.1.	Localização	82
4.1.2.	Socioeconomia	84
4.1.3.	Uso e cobertura da terra de trabalhos anteriores.	85
4.1.4.	Remanescentes Florestais e Áreas de Preservação Permanente	87
4.1.5.	Infraestrutura de Transporte e Gerenciamento de Risco Aviário	89
4.1.6.	Plano Diretor	92
4.1.7.	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	96
4.1.8.	Clima	97
4.1.9.	Águas Superficiais	99
4.1.10.	Águas Subterrâneas (Hidrogeologia)	104
4.1.11.	Geologia	107
4.1.12.	Geomorfologia	109
4.1.13.	Pedologia	112
4.1.14.	Compartimentação Fisiográfica	119
5.	RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÕES	128
5.1.	Avaliação do Potencial de Aptidão das Áreas	128
5.2.	Análise Multicriterial e Geração de Mapas Finais	133
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	141
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

1. INTRODUÇÃO

A Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que implementou a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabeleceu diretrizes que devem ser adotadas para o gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil; tais diretrizes passaram, então, a ter aplicação obrigatória. A legislação ressalta a importância da hierarquização das ações de manejo. Não gerar resíduos, reduzir sua produção, reutilizar, reciclar, tratar e realizar a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deve ser a sequência hierárquica conduzida em todos os projetos vinculados ao gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

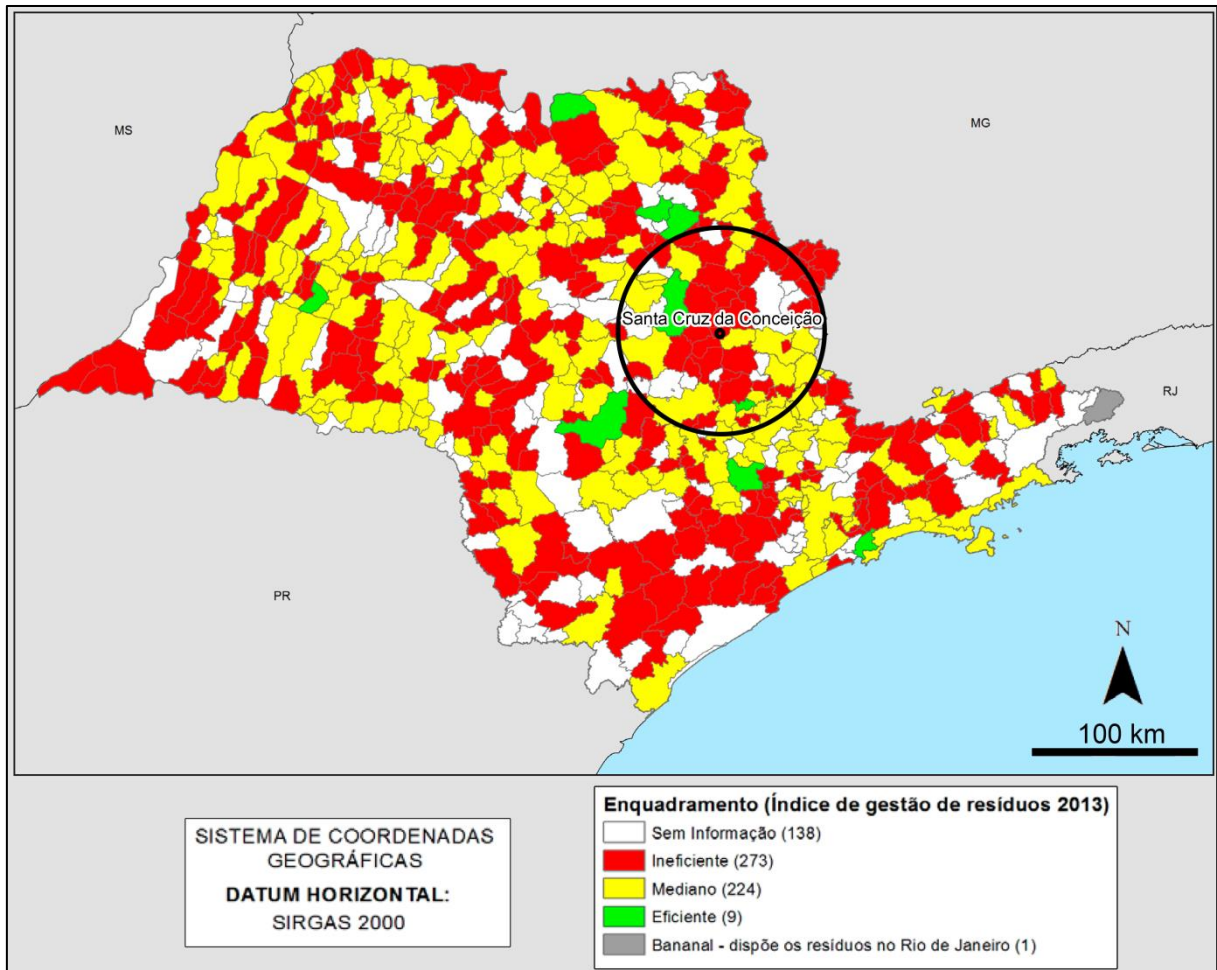
O Brasil colecionou, ao longo da história, péssimas experiências relacionadas à gestão de resíduos sólidos e, ainda hoje, está distante das condições ideais. Levando-se em consideração apenas os resíduos sólidos urbanos (RSU), 81 mil toneladas desses resíduos foram encaminhados para lixões espalhados pelo território brasileiro apenas no ano de 2014 (ABRELPE, 2015).

De acordo com Perez (2013), em uma visão panorâmica sobre a gestão dos resíduos sólidos em todo o Estado de São Paulo, 54% dos municípios apresentaram qualidade ineficiente de gestão de resíduos (Índice de Gestão de Resíduos – IGR $\leq 6,0$), 44% qualidade de gestão mediana ($6,0 < \text{IGR} \leq 8,0$) e apenas 2% (9 municípios) apresentam boas práticas de gestão ($8,0 < \text{IGR} \leq 10,0$) (Figura 1). Este estudo é referente ao ano de 2012, onde considerando apenas o montante dos resíduos sólidos urbanos, 20% do total gerado em todo o Estado de São Paulo foram submetidos a práticas ineficientes de gestão, 64% práticas medianas e apenas 5% do percentual gerado foi submetido a práticas de gestão eficiente.

A avaliação do IGR abrange noções sobre o reaproveitamento de resíduos, coleta seletiva, a adequabilidade dos sistemas de aterramento de rejeitos e a contaminação de áreas por ausência de adequadas práticas de gestão: considera, ainda, aspectos de políticas, de administração pública, e de programas dos municípios e do Estado, levando em conta os resíduos sólidos urbanos, os resíduos da construção civil, resíduos oriundos do saneamento básico, dos serviços de saúde, transporte, agrossilvopastoris, resíduos industriais e de mineração.

Neste cenário, para aquele ano, o município de Santa Cruz da Conceição (SP) encontrava-se entre aqueles municípios com IGR ineficiente, assim como a maioria de seus vizinhos próximos.

Figura 1. Índice de Gestão de Resíduos dos Municípios do Estado de São Paulo.
Fonte: Perez (2013).



Considerando-se apenas a questão da qualidade da disposição final de RSU, o índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR) do referido município ficou com valor igual a 3,4 apresentando-se juntamente com o município vizinho de Leme, um dos piores valores do Estado de São Paulo. O IQR, que varia de 0 a 10, avalia a adequabilidade do monitoramento geotécnico do aterro, a ocorrência de episódio de queima de resíduos a céu aberto, a análise de sua vida útil e a ocorrência de restrições legais ao uso do solo. Este índice compõe o cálculo final do IGR e auxilia a compreensão da qualidade da gestão de resíduos. Para o caso específico dos municípios de Leme e Santa Cruz da Conceição, fica explicitada a necessidade de melhorias e adequação ao processo de gestão e disposição final de rejeitos.

Numa visão mais ampla, o município de Santa Cruz da Conceição localiza-se em uma das regiões mais populosas do Brasil, que também se caracteriza por

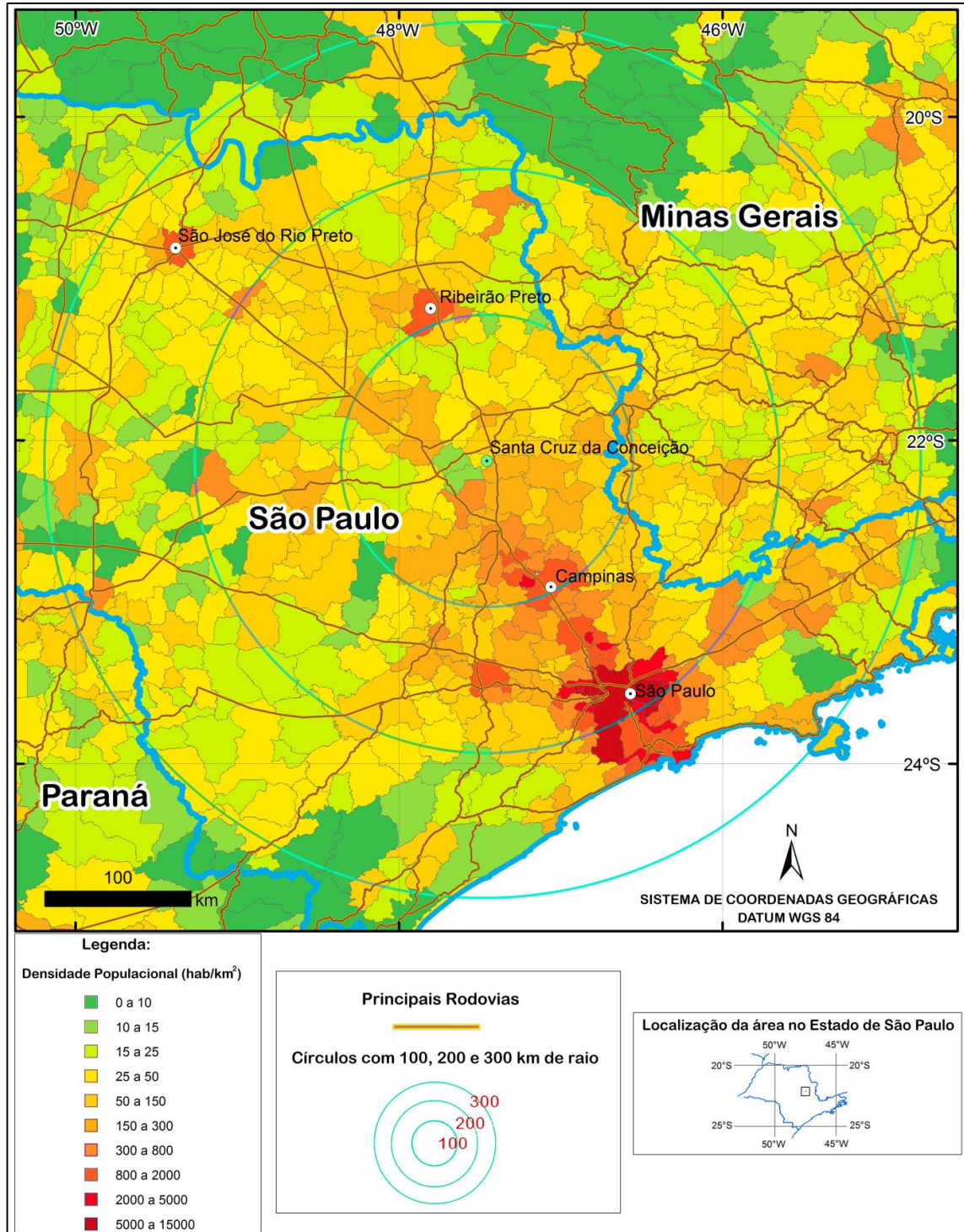
apresentar elevada renda *per capita* e alto nível de geração de resíduos. Em um raio de 100 km, partindo-se do centro de Santa Cruz da Conceição, a região tem um conjunto populacional de cerca de 7,4 milhões de habitantes (IBGE, 2014). Campinas, Ribeirão Preto, Piracicaba, Limeira, Sumaré e São Carlos são alguns dos principais centros urbanos deste contexto regional. Assim, Santa Cruz da Conceição poderia ser uma das alternativas para possíveis projetos consorciados, no qual municípios, em cooperação federativa, articulariam a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados podendo esta ser fonte importante de geração de recursos financeiros para o município (SCHNEIDER et al., 2013). O mapa da figura 2 ilustra a localização do município de Santa Cruz da Conceição, apresentando a densidade demográfica regional, a infraestrutura rodoviária e os círculos com raios de 100, 200 e 300 km, além de indicar a relação de distância entre as regiões mais próximas.

Diante deste cenário, para auxiliar no cumprimento da legislação por parte dos agentes públicos e privados, estão inseridas as Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRSs), que podem ser definidas como complexos industriais, formados por um conjunto de instalações com diferentes funções, capazes de transformar matéria-prima (resíduos sólidos) em produtos comercializáveis após tratamento específico. Este sistema, integrado com diferentes unidades, favorece a economia de energia e reduz gastos com transporte, realizando o aterramento dos rejeitos de forma ambientalmente adequada, quando inclui em seu projeto um aterro sanitário. Estas centrais utilizam força humana, maquinário específico e energia, podendo em muitos casos, de acordo com o projeto, apresentar balanço energético positivo. Ademais, apresentam diferentes níveis de complexidades de acordo com a demanda atendida.

Nos últimos anos, as técnicas mais implantadas para a recuperação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos são os incineradores, plantas de gaseificação, usinas de reciclagem, biodigestores anaeróbicos, sistemas de tratamento mecânico biológico e aterros sanitários, que podem fazer parte de uma CTRS (WILSON, 2015).

As Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos devem ter sua estrutura, técnica e organização em consonância com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, realizando esforços para que a maioria absoluta dos resíduos retorne à cadeia produtiva e as menores quantidades sejam rejeitadas e colocadas em aterros sanitários.

Figura 2. Aspectos demográficos e localização de Santa Cruz da Conceição – SP, com base em dados de IBGE (2010).



Tais empreendimentos devem apresentar coerência com o processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Em vista da demanda por estas instalações,

para que os municípios brasileiros se adequem às exigências legais, é necessário que os empreendedores executem estudos prévios à implantação das centrais, visando escolher, sob a perspectiva ambiental, os melhores locais para as suas implantações. Em função de cada município apresentar em seu espaço geográfico características distintas e heterogêneas em relação aos meios físico, biótico e antrópico, é necessária a realização de estudos ambientais que classifiquem as partes territoriais segundo suas aptidões, norteando a iniciativa pública e privada na escolha das melhores áreas para determinada atividade. O estudo de alternativas locais diminui os possíveis danos ambientais e amplia o alcance dos benefícios, fazendo prevalecer maior harmonia entre o meio ambiente e diversos empreendimentos.

O objetivo do presente trabalho foi apresentar e discutir o desenvolvimento de um mapeamento geoambiental, em escala 1:50.000, com a finalidade de avaliar a potencialidade de aptidão de áreas municipais passíveis de receber uma Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, tendo como referência o município de Santa Cruz da Conceição.

A utilização do mapeamento geoambiental tem por objetivo, de forma genérica, a compartimentação do território com base nas características do meio físico, suas inter-relações com o meio biológico e com as atividades antrópicas, colocando em evidência as suas potencialidades ou restrições de uso (FIORI, 2004). Para tal, foi considerado a possibilidade de implantação de um aterro sanitário, um incinerador, uma central de reciclagem, uma planta de gaseificação, um sistema de tratamento mecânico biológico e um biodigestor anaeróbico, como unidades que possam fazer parte da CTRS, por se tratar das técnicas mais adotadas para tratamento e recuperação de resíduos sólidos urbanos em escala global nos últimos anos. Assim, este estudo irá oferecer subsídios a futuros projetos que venham a discutir e encontrar alternativas locais para CTRSs no respectivo município.

O município de Santa Cruz da Conceição foi escolhido como área de estudo por apresentar uma expressiva deficiência quanto à gestão de resíduos sólidos, por estar localizado em uma região com altíssima demanda por tecnologias que realizem o tratamento e recuperação de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos, e por ter sido contemplado previamente por estudo de compartimentação fisiográfica, fundamental para a realização deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Política Nacional dos Resíduos Sólidos

Após cerca de 20 anos de discussões e trâmites burocráticos, foi sancionada, em 02 de Agosto de 2010, a Lei Federal nº 12.305, que instituiu a atual Política Nacional de Resíduos Sólidos; nela, estão expostos princípios e marcos importantes para a implantação de uma nova mentalidade em relação aos resíduos gerados no Brasil (LEITE, 2015).

O descaso com a gestão de resíduos sólidos pode originar consequências severas para a sociedade e para a economia global. Na ausência de regulamentos e rigorosa aplicação normativa, o gerador de resíduos tende a optar por ações de menor custo financeiro, implicando em prejuízos para a saúde pública e para o meio ambiente (WILSON, 2015). Assim, o encaminhamento de resíduos sólidos para locais inadequados configura-se um dos piores impactos ao meio ambiente, pois a decomposição dos materiais gera substâncias altamente tóxicas que contaminam diretamente o solo, as águas, o ar, a fauna, a flora e a população humana. Trata-se de uma prática ilegal, cujos efeitos danosos não são controláveis e que, com o passar dos anos, apresenta custos cada vez mais elevados para adoção de medidas de controle e remediação (ABRELPE, 2015).

Com objetivo de implantar uma nova cultura no país e romper com as terríveis condições ainda existentes nos dias atuais, a Política Nacional de Resíduos Sólidos trouxe conceitos inovadores à realidade brasileira. O conceito de “resíduo sólido” substituiu o antigo conceito de “lixo”, entendido por longo período apenas como o fim de um ciclo, algo sem utilidade. Neste novo contexto, o resíduo sólido é visto como uma nova oportunidade, o início de uma nova cadeia produtiva, um novo produto ou a matéria-prima para produção de novos produtos (LEITE, 2015).

Assim, a nova legislação definiu o termo “resíduos sólidos” como:

‘material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou

exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).’

De forma complementar “rejeitos” foram definidos como:

‘resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).’

No artigo 6º da Lei 12.305 são apresentados os princípios fundamentais da Política Nacional dos Resíduos Sólidos:

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade. (BRASIL, 2010).

O artigo 7º da mencionada lei disserta sobre os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

- V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- VII - gestão integrada de resíduos sólidos;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
- X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;
- XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
 - a) produtos reciclados e recicláveis;
 - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
- XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável. (BRASIL, 2010).

Ainda, de forma a nortear todos os atores envolvidos com a gestão dos resíduos sólidos, o artigo 9º estabelece que todo o processo de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve ser pautado pela seguinte ordem de prioridade: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Neste contexto, a lei define que a “disposição ambientalmente adequada” é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

A lei permite ainda a utilização de tecnologias visando a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010).

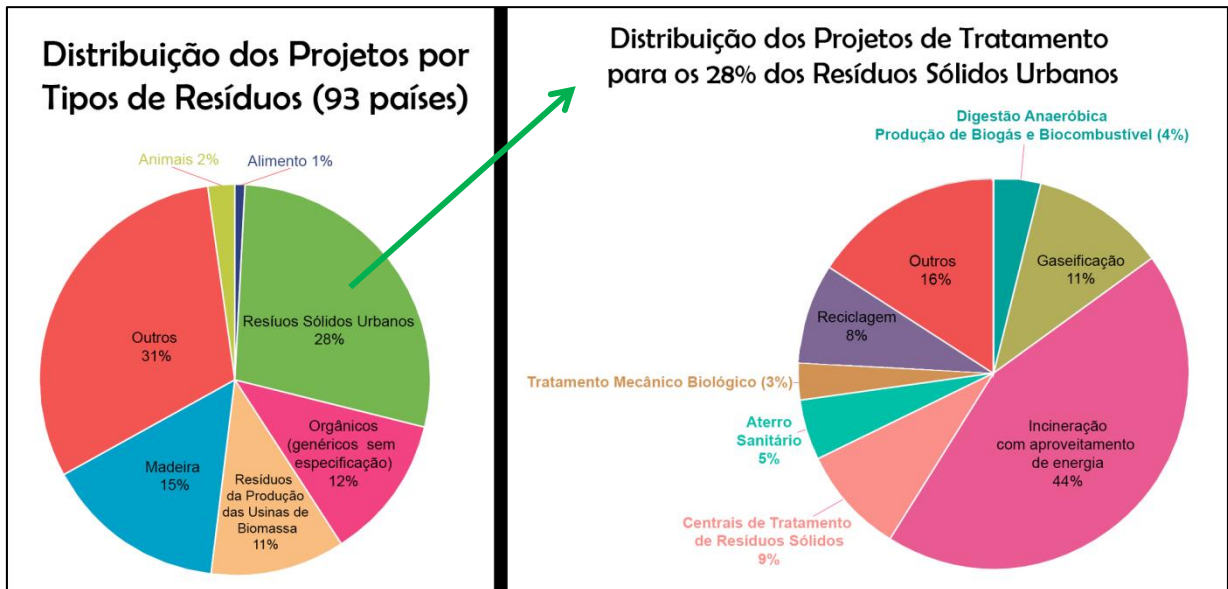
Observando estes princípios, objetivos e diretrizes, fica evidenciada a intenção da nova política, que busca estimular esforços máximos para que o mínimo dos resíduos produzidos nas atividades humanas seja categorizado como rejeitos e, por consequência, sejam dispostos em aterros sanitários. O ideal é que a maioria restante dos resíduos retorne à cadeia produtiva (BRASIL, 2010).

2.2. Panorama Mundial das tecnologias de tratamento e recuperação dos resíduos sólidos e aterramento final de rejeitos

Um estudo publicado em 2015 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) apresentou dados sobre o desenvolvimento de novos projetos para tratamento e recuperação de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos no mundo (Gráfico 1). A pesquisa envolveu um universo de 93 países e catalogou projetos totalizados em 309 bilhões de dólares durante os anos de 2013 e 2014. Segundo o estudo, 85 bilhões de dólares (28% dos recursos) foram direcionados ao tratamento e recuperação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Destes, a maior parte (44%) utilizaria tecnologias de incineração com aproveitamento energético em seu sistema. Destaca-se ainda que 9% dos investimentos foram direcionados para implantar Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, sistemas mistos com diferentes tecnologias integradas. Como principais tecnologias apresentadas também se destacaram o processamento de resíduos, a gaseificação, a reciclagem, os aterros sanitários, a biodigestão anaeróbica e o tratamento mecânico biológico (WILSON, 2015).

Os resíduos sólidos passam por diferentes etapas até a sua chegada às instalações de tratamento, recuperação e disposição final. Nas diferentes unidades serão transformados em novas matérias primas ou serão dispostos em aterro sanitário. Estas principais etapas e tecnologias de tratamento e disposição final são descritas nos subcapítulos seguintes.

Gráfico 1. Distribuição dos projetos por tipo de resíduo e principais tecnologias utilizadas para o tratamento e recuperação dos resíduos sólidos urbanos no mundo. Fonte: Wilson (2015).



2.2.1. Tecnologias aplicadas ao tratamento e recuperação de resíduos sólidos e disposição final de rejeitos

Para que a Política Nacional dos Resíduos Sólidos cumpra seus objetivos, os gestores de resíduos podem utilizar diferentes tecnologias de tratamento e recuperação e de disposição final de rejeitos. Em diversas partes do mundo, tecnologias vêm sendo utilizadas, como a incineração com aproveitamento energético, a gaseificação, a reciclagem, os aterros sanitários, os biodigestores anaeróbicos e o tratamento mecânico biológico, entre outros.

2.2.1.1. Acondicionamento

Após a geração dos resíduos e decisão de descarte por parte do usuário, a primeira etapa que antecede o processo de remoção dos resíduos sólidos corresponde à atividade de acondicionamento (CUNHA; FILHO, 2002). Os diferentes tipos de resíduos sólidos, sejam industriais, da construção civil, resíduos dos

serviços de saúde, ou urbanos, devem ser guardados e armazenados pelos consumidores, que devem adequar o tipo de acondicionamento conforme as características de cada resíduo, disponibilizando os reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução (BRASIL, 2010).

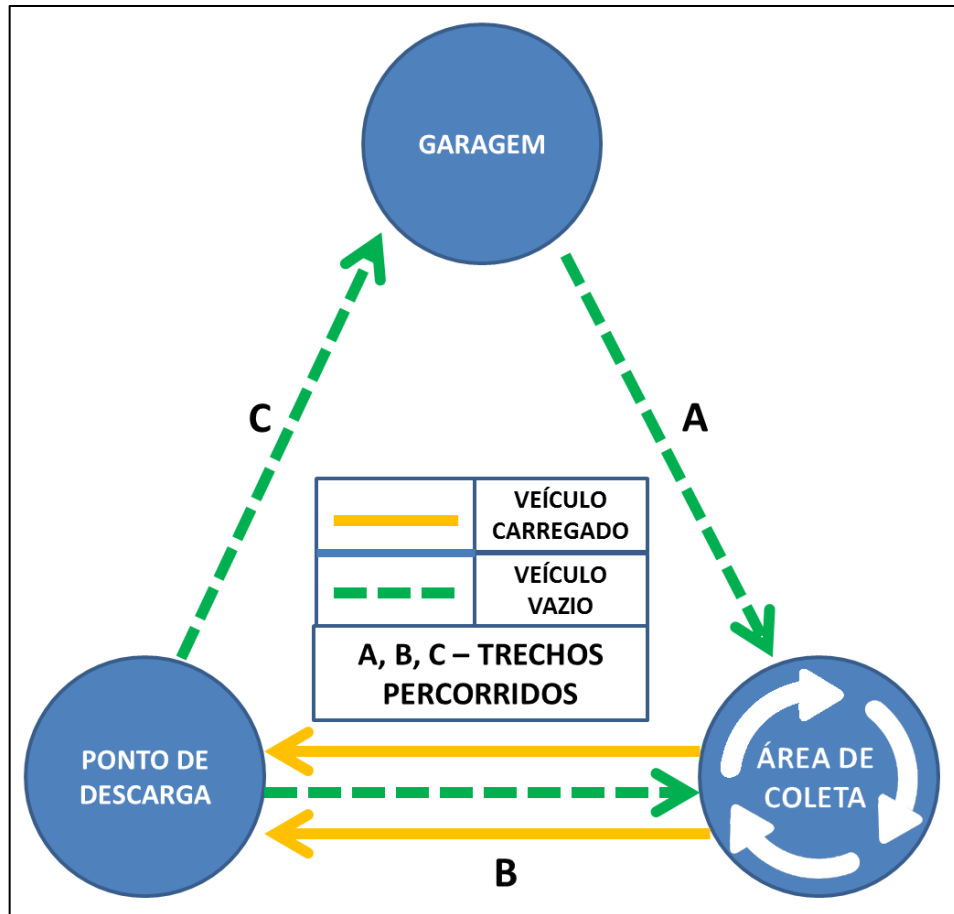
2.2.1.2. Coleta e Transporte de Resíduos

A coleta de resíduos sólidos na maioria das cidades é feita por caminhões, que variam de caminhões abertos, velhos e mal conservados, até veículos altamente especializados, que possuem sistema de compactação e compartimentos para mais de um tipo de resíduos (LARSEN et al., 2009).

A operação de coleta engloba desde a partida do veículo de sua garagem, compreendendo todo o percurso gasto na viagem para remoção dos resíduos acondicionados na área de coleta, o transporte aos locais de descarga, até o retorno do veículo ao ponto de partida (CUNHA; FILHO, 2002). Os pontos de descargas podem ser diferentes unidades de tratamento ou disposição. A figura 3 ilustra o sistema de coleta de resíduos.

Os impactos ambientais relacionados à coleta se devem principalmente à queima de combustíveis ocorridos nos motores dos veículos. Em um contexto mais amplo, os impactos também estão relacionados ao desgaste de freios e pneus, vazamentos de óleo, ruído, odor e a construção e manutenção de caminhões e caixas de coleta (LARSEN et al., 2009).

Figura 3. Modelo conceitual para coleta e transporte de resíduos. A partir de Larsen et al. (2009).



2.2.1.3. Triagem

A triagem é o processo de separação dos resíduos conforme a sua classificação. Desta forma, os resíduos são preparados para os processos produtivos ou para os tratamentos seguintes. A triagem é uma etapa importante do processo, pois é uma das que mais agrega valor ao produto (LOBATO; LIMA, 2010).

O processo de triagem pode ser realizado na própria fonte geradora ou em centrais de triagem, que recebem resíduos diversos e fazem a separação de forma manual, automática ou mista. Assim, podem ser utilizadas esteiras mecânicas, sensores óticos, tecnologias de separação por densidade, equipamentos eletromagnéticos, entre outros como ilustrados pelas figuras 4, 5, 6 e 7 (ANASTASSAKIS, 2007).

Figura 4. Exemplo de sistema de triagem ocorrido no local de geração do resíduo.
Fonte: Pensamento Verde (2015).



Figura 5. Central de triagem de resíduos sólidos urbanos em uma unidade de reciclagem em Madri, Espanha. Fonte: Wilson (2015).



Figura 6. Triagem manual de resíduos sólidos urbanos. Fonte: Ambiente Legal (2014).



Figura 7. Central de triagem para o manejo de resíduos de construção civil em Santo Ângelo, no Rio Grande do Sul. Fonte: Reciclar SA Santo Ângelo (2015).



2.2.1.4. Reciclagem

Após a separação dos materiais no processo de triagem, cada material, conforme a sua classificação, é encaminhado para o tratamento posterior, e parte significativa dos resíduos pode ser reciclada.

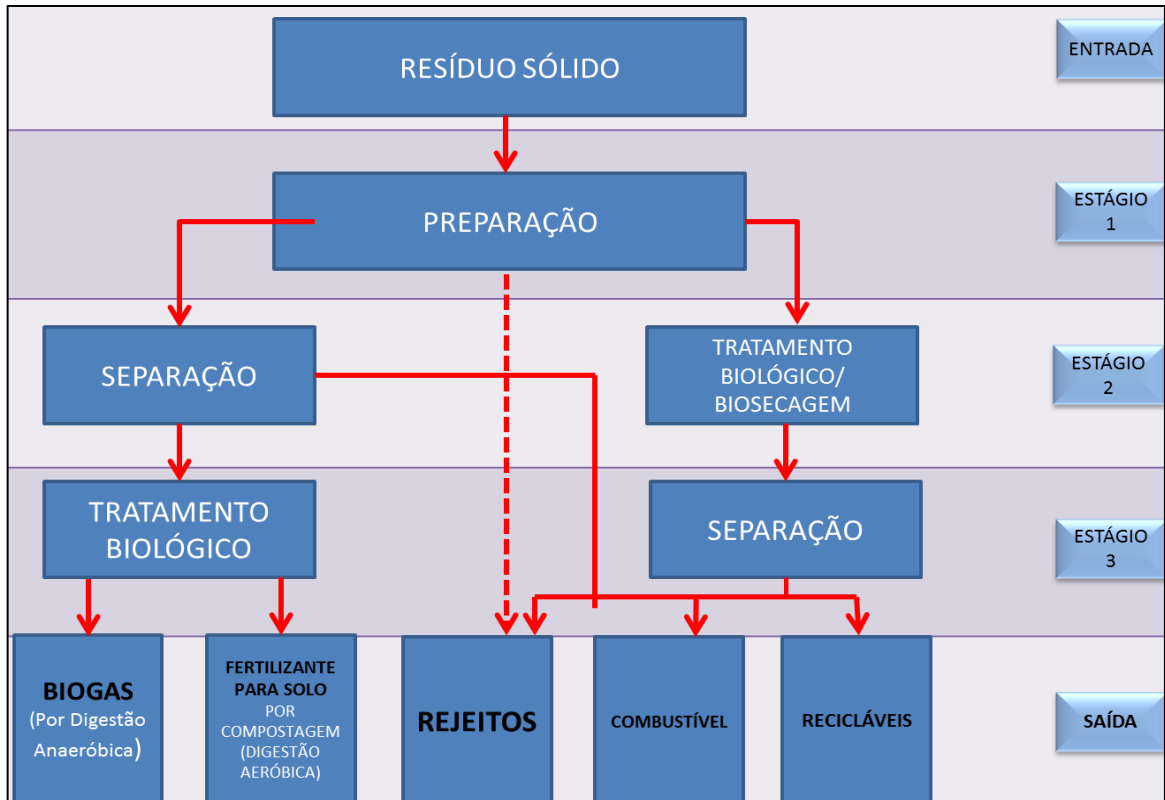
A reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos; envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010).

2.2.1.5. Tratamento Mecânico Biológico

O sistema de Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) é um processo de tratamento de resíduos urbanos aplicados aos resíduos que não foram separados na fonte geradora (COSTA, 2010).

O TMB utiliza uma série de processos biológicos e mecânicos combinados, visando o tratamento biológico e a separação mecânica dos resíduos que ainda possam ser reciclados, ricos em frações orgânicas ou ricos em combustível. Cada unidade de tratamento mecânico-biológico é projetada com uma finalidade específica, lavando em consideração um específico fluxo de entrada de resíduos e um fluxo de saída, que visa atender a determinadas especificações (WILSON, 2015). A figura 8 ilustra as opções potenciais no tratamento mecânico-biológico (TMB).

Figura 8. Ilustração das opções potenciais no Tratamento Mecânico-Biológico (TMB).
A partir de Defra (2013).



2.2.1.6. Digestão Anaeróbica de Matéria Orgânica (Biodigestores Anaeróbicos)

A digestão anaeróbia, especialmente da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos (RSU), é de grande importância no tratamento dos resíduos sólidos. Também conhecida como biometanização ou biogaseificação, a digestão anaeróbica é um processo natural que ocorre na ausência de oxigênio e envolve a decomposição bioquímica da matéria orgânica que é realizada por um grupo específico de microrganismos. Esse processo resulta na produção do biogás (rico em energia) e um efluente rico em nutrientes. Trata-se de uma alternativa viável e que vem sendo aceita com relevante aplicabilidade, visando a estabilização da matéria orgânica e o aproveitamento energético desses resíduos (REIS, 2012).

No ano de 2002, o governo brasileiro, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Tal programa teve como principais objetivos a diversificação da matriz energética brasileira, o aumento e a

segurança no abastecimento de eletricidade, a valorização das características e potencialidades regionais e locais, a criação de empregos, a capacitação e formação de mão-de-obra, e a redução de emissão de gases de efeito estufa. Neste contexto, ocorreu a valorização da energia fornecida pela biomassa (SALOMON, 2007).

A digestão anaeróbia começa pela degradação dos compostos orgânicos (carboidratos, proteínas e lipídios) a ácidos orgânicos seguidos da transformação desses ácidos em produtos gasosos, nos quais predominam o metano e gás carbônico (FERNANDES-JÚNIOR, 1989). O processo é bastante complexo e um elevado número de espécies de bactérias, produtoras ou não de metano, contribuem de algum modo para a formação deste gás (RODRÍGUEZ et al., 1997).

O biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa, bem como contribui em muito na questão ambiental, pois reduz potencialmente os impactos ambientais da fonte poluidora. Este é composto por uma mistura de gases, onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções (Quadro 1). A biodigestão pode reduzir o potencial poluidor do descarte de resíduos orgânicos, com alto teor de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e, ao mesmo tempo, produzir gás metano e um fertilizante como resíduo (PUNA; BAPTISTA, 2008).

Quadro 1. Composição média do biogás proveniente de resíduos orgânicos. Fonte: Cortez et al. (1996).

Gás	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de carbono (CO ₂)	25 – 40
Nitrogênio (N)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O)	0,1 – 1
Acido sulfídrico (H ₂ S)	0,1 – 0,5
Amoníaco (NH ₃)	0,1 – 0,5
Monóxido de carbono (CO)	0 – 0,1
Hidrogênio (H)	1 – 3

O biogás corresponde somente de 2 a 4% do peso da matéria orgânica usada no processo. Seu poder calorífico é variável e depende de sua quantidade de metano. Levando-se em conta todas as frações, o poder calorífico do biogás é de aproximadamente 22.500 a 25.000 kJ m⁻³, e o do metano de 35.800 kJ m⁻³. De

acordo com Jordão e Pessoa (1995), isto significa um aproveitamento de 6,25 a 10 kWh m⁻³. Sua potencialidade é demonstrada quando tratado (remoção do CO²), pois o seu poder calorífico pode chegar a 60% do poder calorífico do gás natural (Quadro 2).

Quadro 2. Equivalência energética entre 1 m³ de biogás e outras fontes energéticas.
Fonte: Pompermayer (2000).

Fonte	Faixa
Gasolina (L)	0,61 – 0,70
Querosene (L)	0,58 – 0,62
Óleo Diesel (L)	0,55
GLP (kg)	0,40 – 1,43
Álcool (L)	0,80
Carvão mineral (kg)	0,74
Lenha (kg)	3,50
Eletricidade (kWh)	1,25 – 1,43

Segundo o IPCC (1996), os aterros sanitários são responsáveis por cerca de 5 a 20% do total de metano liberado por fontes antropogênicas. Os danos causados por estas emissões não somente intensificariam o efeito estufa, mas também causariam graves efeitos na vegetação e na saúde humana, através da formação de ozônio a baixas altitudes e da exposição a outros gases contaminantes, podendo causar doenças como câncer e outras afetações (IPCC, 1996).

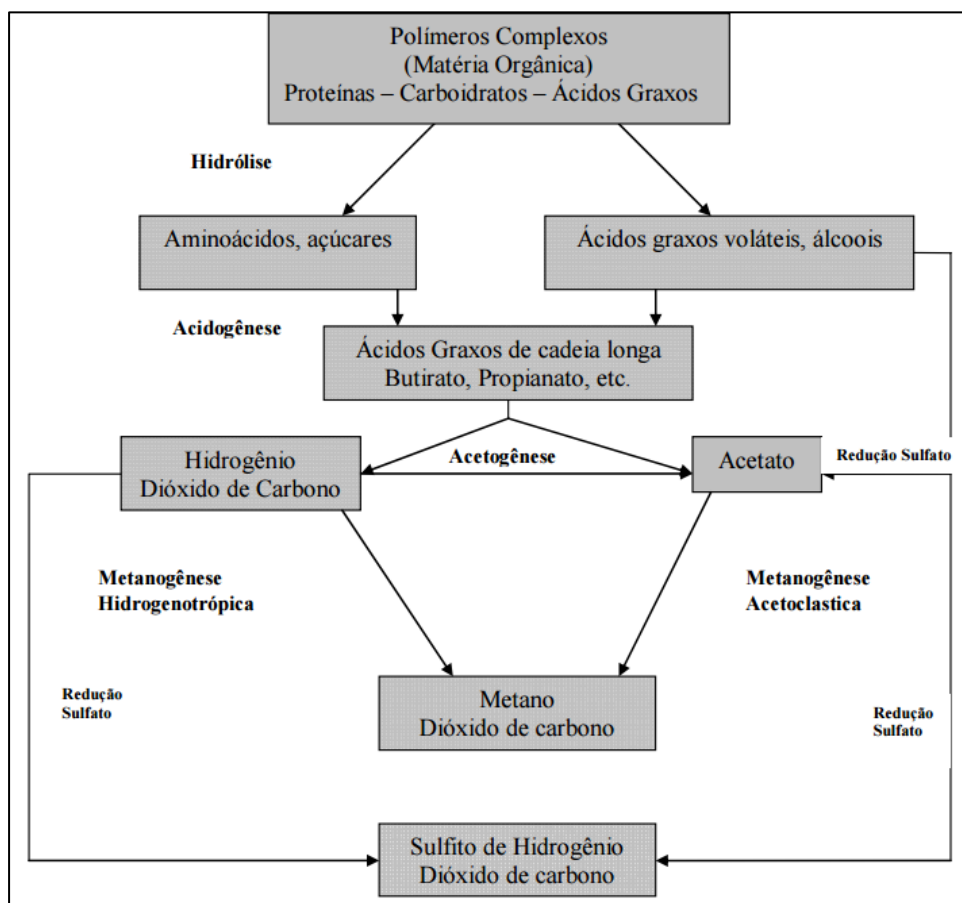
Nesse sentido, a mitigação das mudanças climáticas, ocasionadas pelo crescimento das emissões gasosas dos chamados gases de efeito estufa (GEE), é um assunto que vem sendo bastante discutido em todo mundo. Entre os principais gases de efeito estufa estão: o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), sendo que este último age mais agressivamente na atmosfera (cerca de 23 vezes mais que o CO₂), requerendo, assim, uma maior atenção em relação ao seu controle. As principais fontes antropogênicas do metano estão representadas pela queima de combustíveis fósseis, a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e dejetos animais, o tratamento de esgotos domésticos etc (RUSSO, 2005).

O processo de digestão anaeróbia apresenta-se como uma interessante opção de tratamento dos resíduos sólidos. O grande volume de gases, matéria orgânica, bactérias e outras substâncias geradas pela decomposição do lixo

constituem, efetivamente, um fator de risco para a contaminação do ar, do solo e da água. Desta maneira, a biodigestão anaeróbia tem como objetivo reduzir o potencial poluidor da decomposição dos resíduos sólidos e ao mesmo tempo produzir um gás e um fertilizante como resíduo (SALOMON; LORA, 2005).

Para ter máxima eficiência no processo de tratamento e aproveitamento energético, são utilizados reatores de digestão anaeróbica ou também chamados de biodigestores anaeróbicos. Um reator de digestão anaeróbia pode ser considerado como um ecossistema onde diversos grupos de microorganismos trabalham conjuntamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. O consórcio de microorganismos ativos no tratamento anaeróbio, para remoção de matéria orgânica, realiza um processo complexo envolvendo muitas espécies de bactérias, atuando de forma simbiótica, evidenciando algumas etapas intermediárias (LETTINGA; RINZEMA, 1985). As reações bioquímicas principais que ocorrem no processo caracterizam os grupos de microorganismos predominantes, podendo o mesmo ser dividido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, conforme descreve Lettinga e Rinzema (1985) (Figura 9).

Figura 9. Digestão anaeróbia da matéria orgânica. Fonte: Lettinga e Rinzema (1985).



Geralmente os reatores biológicos podem ser divididos em dois grupos distintos: os reatores de biomassa em suspensão e os reatores de biomassa fixa a um suporte inerte. Segundo Rizzo e Leite, (2004), os reatores anaeróbios mais atuais são os do tipo onde microrganismos encontram-se aderidos a um suporte que pode ser expandido ou fluidizado (reatores de biomassa fixa). O material normalmente empregado como suporte deve possuir uma grande área superficial para adesão dos microrganismos e manter boas características de sedimentação para assegurar a retenção da biomassa no reator. O quadro a seguir apresenta os sistemas anaeróbicos de reatores mais atuais.

Quadro 3. Principais características dos reatores anaeróbios (Rizzo e Leite, 2004).

Tipo de reator anaeróbio	Principais características
Reator Anaeróbio de Leito Expandido	- Microrganismos aderidos a um suporte inerte de baixo peso específico (areia, antracito ou material plástico)
Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado	- Equipamentos são de pequeno porte e a produção de resíduo é pequena

Após a etapa da biodigestão, o gás originado passa por processos tecnológicos para sua conversão energética. Algumas dessas tecnologias são o Motor de Combustão Interna Alternativo, as caldeiras, os Motores Stirling, as Microturbinas a gás e as Células a Combustível, descritas resumidamente no quadro a seguir.

Quadro 4. Principais características das tecnologias de conversão energética do biogás. Fonte: Liss (1999), Lombard e Khairallah (2004), USEPA (1991), Podesser et al. (2000) e Willis e Scott (2000).

Tecnologia de conversão energética do biogás	Principais características
Motor de Combustão Interna Alternativo	- Energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico; - Tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso; - Utilizados para pequenas e médias demandas elétricas, de

	<p>centenas de kW até dezenas de MW;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relação energia térmica/energia mecânica é menor que os outros acionadores primários, o que pode ser interessante para cogeração no setor terciário; - As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação é rápida.
Caldeiras	<ul style="list-style-type: none"> - A corrosão devido à umidade e o ácido sulfídrico presentes no biogás são um problema para sua operação; - Os níveis de umidade do gás devem ser controlados com a instalação de purgadores e linhas de condensado para impedir danos aos equipamentos e problemas em sua operação.
Motores Stirling	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizado por ser um sistema fechado, onde a expansão de um gás de trabalho é aproveitada para obter potência mecânica; - Eficiência global boa, na faixa dos 30 %; - Baixo nível de ruído e operação segura; - Podem utilizar uma grande variedade de combustíveis; - Possibilidade de cogeração; - Vida útil de 25000 horas.
Microturbinas a gás	<ul style="list-style-type: none"> - Turbinas a gás com alta e variável velocidade de rotação na faixa de potência de 15 a 300 kW; - Facilidade de instalação e flexibilidade para trabalhar em diversos locais; - Boa eficiência (30 a 33%).
Células a combustível	<ul style="list-style-type: none"> - Dispositivos eletroquímicos que convertem diretamente a energia química da mistura combustível/agente oxidante em eletricidade, permitindo elevadas eficiências; - Atual crescimento no mercado.

2.2.1.7. Gaseificação

De acordo com Belgiorno et al. (2003), a gaseificação é um processo de conversão térmica, com mudança de estado sólido dos resíduos para o estado gasoso, através da elevação da temperatura, produzindo assim um gás combustível ou um gás de síntese, a partir de uma biomassa, para posterior utilização. Juniper

(2000) salienta que a biomassa de entrada podem ser os resíduos produzidos por um município ou ainda oriundos da agricultura e das grandes e pequenas indústrias. No processo podem ser utilizados diferentes tipos de agentes de gaseificação, entre eles ar, O₂ e vapor d'água. O uso de uma mistura de ar e vapor d'água aumenta a concentração de hidrogênio (H₂) no gás combustível. Desta forma o gás combustível produzido pode ser utilizado para a produção de energia, em turbinas a gás, motores ou ainda em caldeiras, ao passo que o gás de síntese pode ser destinado para a produção de diversos produtos, dentre eles amônia e etanol (GODINHO, 2006).

As cinzas geradas neste processo podem ser valorizadas e utilizadas na construção civil, como fertilizantes ou ainda na fabricação de vidro (BELGIORNO et al., 2003). Os mesmos autores salientam que esta técnica é energeticamente eficaz para reduzir o volume dos resíduos sólidos urbanos e recupera a energia gasta no processo de produção destes materiais.

Apesar do alto custo em comparação com outras tecnologias de tratamento de resíduos existentes, a gaseificação possui as seguintes vantagens, de acordo com Young (2010), Circeo (2010) e Furlan (2007):

- Não necessita prévio tratamento da matéria prima recebida após a coleta dos materiais recicláveis;
- Maior taxa de conversão de energia por resíduo tratado;
- Maior abrangência dos resíduos a serem tratados;
- Liberação do gás de síntese de maneira mais uniforme, requerendo menor investimento para sua limpeza;
- Reduz a necessidade de aterros, devido ao fato dos resíduos gerados no processo poderem ser aproveitados como agregado ou convertidos em outros produtos com valor comercial.

2.2.1.8. Incineração

De acordo com a ABNT (1990), a incineração consiste em uma combustão controlada, com temperaturas variando de 800 a 1300 °C, através de equipamentos especiais denominados incineradores; é considerado um método de tratamento de resíduos sólidos, semissólidos e líquidos. Nessas temperaturas e com excesso de

oxigênio, por se tratar de uma atmosfera fortemente oxidante, ocorre a destruição térmica dos resíduos orgânicos, com a conseqüente redução de volume e de toxicidade do material incinerado. Em geral, a incineração não é usada com o intuito único de redução de volume, pois, se comparada com outros processos, para esta finalidade, ela se torna economicamente inviável. A incineração está associada à eliminação de contaminantes altamente persistentes, tóxicos e inflamáveis. Estão incluídos aqui solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas, produtos farmacêuticos e resíduos hospitalares. A NBR n. 11.175, que normatiza a incineração de resíduos perigosos, define os requisitos de operação e os padrões de emissão de HCl, HF, CO, SO₂, NO₂ e materiais particulados, estabelecendo o monitoramento contínuo e orientando sobre o chamado teste de queima (ABNT, 1990). Desta forma, é imprescindível que os incineradores contenham, além da câmara de combustão, equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e agregados leves resultantes da combustão dos resíduos (CETESB, 1997). Outra obrigatoriedade dos incineradores é de que sejam dotados de sistemas de lavagem de gases, para controlar a emissão de gases ácidos também formados durante o processo de queima dos resíduos (SCHALCH et al., 2002). Os mesmos autores ressaltam que uma série de informações a respeito dos resíduos a serem incinerados deverão direcionar o projeto, como:

- Tipo, quantidade e composição dos resíduos a serem incinerados;
- Poder calorífico inferior (PCI), que indica a quantidade de calor liberado por uma determinada quantidade de resíduos durante o processo de queima;
- Quantidade de ar necessário para a combustão completa dos resíduos;
- Quantidade e natureza das cinzas, eventualmente geradas no processo (SCHALCH et al., 2002).

De acordo com IPT (2000), as principais vantagens da incineração são:

- Redução dos resíduos em até 5% do volume e 15% do peso original, transformando-os em cinzas e escória;
- Eliminação satisfatória, sob o ponto de vista sanitário, de resíduos de serviços de saúde, alimentos, medicamentos vencidos, sobras de laboratórios e animais mortos;

- Diminuição de distância de transporte, devido à possibilidade de localização da instalação em áreas próximas aos centros urbanos;
- - Bom funcionamento, independentemente das condições meteorológicas;
- - Possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos (IPT, 2000).

Entretanto, Jaramillo (1991) e IPT (2000) ressaltam que as principais desvantagens desse método são: investimento elevado, o alto custo de operação e manutenção; possibilidade de causar poluição atmosférica quando o incinerador é mal projetado ou mal operado; exigência de mão-de-obra especializada na operação.

2.2.1.9. Aterro Sanitário

Segundo a ABNT (2010), aterro sanitário é:

‘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 (ABNT, 2010).’

Desta forma, o aterro sanitário é considerado o melhor local para dispor os rejeitos, seja pelo baixo custo, seja pela relativa simplicidade de operação (MASSUKADO, 2004).

Serra et al. (1998) salientam que antes de se projetar um aterro sanitário devem ser realizados estudos geológicos e topográficos para a seleção da área e verificação do tipo de substrato. Também deve ser feita a impermeabilização do solo, os líquidos percolados devem ser captados por drenos horizontais para tratamento e os gases liberados durante a decomposição captados por drenos verticais. Nesta técnica de disposição de resíduos, os rejeitos são compactados e cobertos diariamente com camada de terra de 20 a 40 cm (SERRA et al., 1998).

Segundo Braga et al. (2002), no aterro sanitário, o rejeito é lançado sobre o terreno e recoberto com solo do local, de forma a isolá-lo do ambiente, formando “câmaras”. Os resíduos sólidos dessas “câmaras” são compactados na

terraplanagem durante a movimentação das máquinas. Nessas, cessada a biodegradação aeróbia com o esgotamento do oxigênio, processa-se a biodegradação anaeróbia, com liberação de gás e do lixiviado. A fração gasosa é predominantemente formada por gás metano, que tende a acumular-se nas porções superiores das câmaras, devendo ser drenado para queima ou aproveitamento. O lixiviado, por sua vez, tende a acumular-se no fundo. Por isso, utiliza-se uma camada de solo e revestimento suficientemente espesso ou de baixa permeabilidade, evitando assim a contaminação do lençol freático (BRAGA et al., 2002).

A técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo em aterros sanitários pode ser executada de diversas maneiras, como na forma de valas e trincheiras escavadas abaixo do nível natural do terreno e na forma de camadas que usa o perfil natural sobre o solo. Para municípios de pequeno porte, é aceitável, e até aconselhável, o uso da técnica dos aterros sanitários na forma de valas (CETESB, 2010).

Schalch et al. (2002) ressaltam que na construção dos aterros, independentemente da técnica empregada, o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas existe, devido à infiltração do líquido produzido pela decomposição do material, denominado de chorume. Ademais, outros riscos pertinentes à implantação deste método de disposição dos resíduos podem ocorrer, como a infiltração das águas pluviais, que aumentam consideravelmente a quantidade de percolado (SCHALCH et al., 2002) e alguns processos relacionados ao meio físico, como a ocorrência de erosão pela água, escorregamentos, escoamento das águas em superfície e sua movimentação (BITAR; ORTEGA, 1998). Desta forma, os principais cuidados na operação do aterro são a captação dos gases gerados pelo processo de decomposição dos resíduos e a drenagem das águas pluviais e outros percolados, além do monitoramento de alguns processos geológicos, como erosões e movimentos de massa (SCHALCH et al., 2002).

De acordo com o IPT (2000), os critérios a serem observados para construção e operação de um aterro sanitário são:

- adequação ambiental, considerando-se a legislação ambiental em vigor;
- aptidão natural do terreno, avaliada em função de características como geologia, geotecnia, hidrogeologia, biota, tendências de uso e ocupação do solo nos entornos da área, conflitos de uso do solo existentes;

- vida útil remanescente, determinada com base no volume do resíduo sólido a ser disposto, área efetiva disponível (considerando-se restrições de uso e as áreas já utilizadas) e projeto geométrico mais adequado à utilização do local;
- histórico de operação, incluindo-se aspectos como volume e, principalmente, tipos de rejeitos recebidos, infraestrutura existente (impermeabilização de base, drenagens, sistemas de tratamento de percolado e biogás, isolamento); e condições de operação praticadas no passado (compactação, cobertura)
- distância aos centros produtores de rejeitos e estado de conservação das vias de acesso;
- infraestrutura, mão-de-obra e equipamentos necessários à adequada operação do local;
- possibilidade de expansão em áreas contígua ao atual local de disposição;
- existência de áreas alternativas e tempo necessário para viabilizar o novo aterro;
- disponibilidade de recursos financeiros (IPT, 2000).

Para Massukado (2004), as principais vantagens da disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários são:

- em sua execução e operação utilizam-se de equipamentos normalmente usados em serviços de terraplanagem;
- é controlada proliferação de vetores, tais como ratos e artrópodes;
- os custos normalmente são inferiores aos das usinas de compostagem e das instalações de incineração (MASSUKADO, 2004).

Em contrapartida, para Schalch et al. (2002) as principais desvantagens dos aterros se resumem em:

- desvalorização imobiliária das áreas destinadas ao aterro, caso elas não necessitem de recuperação topográfica;
- poderá ser necessário o transporte de resíduos a longa distância;
- produção de águas residuárias;
- possibilidade de poluição do lençol freático quando planejado ou operado de forma inadequada;
- período longo para a estabilização do solo do aterro; e
- produção de ruídos e poeiras durante a fase de execução e operação (SCHALCH et al., 2002, p. 71).

A partir das diferentes técnicas de tratamento e recuperação dos resíduos sólidos apresentados, os capítulos posteriores irão se dedicar à discussão dos estudos de alternativas locacionais que antecedem a implantação das tecnologias com maior potencial de impacto (aterros sanitários e incineradores). Serão expostas também as exigências legais para a instalação desses empreendimentos e as diferentes metodologias empregadas para estes estudos ambientais.

2.3. A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)

Ao final da década de 60, nos países industrializados e em alguns países em desenvolvimento, o crescimento da conscientização quanto à rápida degradação ambiental e aos problemas sociais decorrentes levou as comunidades a demandar uma qualidade ambiental melhor e a exigir que os fatores ambientais fossem expressamente considerados pelos governos ao aprovarem programas de investimento e projetos de grande porte.

Os métodos tradicionais de avaliação de projeto, baseados tão somente em critérios econômicos, mostram-se inadequados para auxiliar as decisões. Quase sempre limitados a análises de custo e benefício, sem considerar fatores ambientais, os estudos de viabilidade levam a aprovação de projetos cuja implantação pode resultar em danos inesperados à saúde, ao bem-estar social e aos recursos naturais, reduzindo assim os benefícios previstos (MOREIRA, 1985).

A busca de meios que promovessem a incorporação de fatores ambientais à tomada de decisão resultou na formulação de políticas específicas e fez surgir uma série de instrumentos para a execução dessas políticas. Assim, foram feitas reorganizações administrativas e reformas institucionais, criaram-se incentivos econômicos para o controle da poluição, foram implantados sistemas de gestão ambiental e abertos canais para que os cidadãos pudessem participar das decisões. Dos instrumentos gerados, o processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi aquele que maiores atenções atraiu, tendo sido amplamente discutido e adotado, por sua adaptabilidade a diferentes esquemas institucionais e por suas possibilidades de atender ao mesmo tempo a requisitos técnicos e políticos (OLIVEIRA, 2004b). Assim, a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) pode ser definida como uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos,

com o objetivo de caracterizar e identificar impactos potenciais da futura instalação de um empreendimento, prevendo a magnitude e a importância desses impactos (BITAR; ORTEGA, 1998).

Do ponto de vista histórico, a primeira manifestação institucionalizada de uma política voltada para a temática de impactos ambientais ocorreu com o advento da NEPA (*National Environmental Policy Act*), nos Estados Unidos da América, em 1969, que traçou as diretrizes da política ambiental americana e formalizou a avaliação de impacto ambiental (CARSON, 1992; CANTER, 1996). Posteriormente, o emprego da AIA se disseminou pelo mundo, tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, de modo que atualmente inúmeras jurisdições a adotam como um instrumento de política ambiental (SÁNCHEZ, 2008).

No Brasil apenas em 1981, através da Lei 6.938, foram estabelecidos os objetivos, ações e instrumentos legais da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), de modo que passou a compor a lista de países que possuíam legislação relacionada ao processo de AIA. Cinco anos depois, a primeira normativa relacionada à AIA foi publicada (Resolução Conama n.1/1986), que regulamentou e estabeleceu orientações e diretrizes gerais para a realização de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), principais procedimentos do processo de AIA no Brasil (SÁNCHEZ, 2008). Ademais, a Constituição Federal de 1988 dedica um capítulo específico para a temática Meio Ambiente e explicita a necessidade do EIA:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, **estudo prévio de impacto ambiental**, a que se dará publicidade (BRASIL, 1988, grifo nosso).

Desta maneira, Bitar e Ortega (1988) destacam que o instrumento de Avaliação de Impacto Ambiental deve ser elaborado para qualquer empreendimento que possa acarretar danos ou impactos ambientais futuros, sendo executado antes da instalação do empreendimento. Com este enfoque, tem sido utilizado principalmente nos seguintes empreendimentos: minerações, hidrelétricas, rodovias,

aterros sanitários, oleodutos, indústrias, estações de tratamento de esgoto e loteamentos (BITAR; ORTEGA, op.cit.). Entre os instrumentos previstos na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, é um dos mais bem-sucedidos e disseminados na gestão ambiental brasileira (CETESB, 2014).

De acordo com Sánchez (2008) o processo de Avaliação de Impacto Ambiental é dividido em 3 etapas, com diferentes atividades: A Etapa Inicial tem a função de determinar se é necessário avaliar os impactos ambientais de maneira detalhada através de estudos específicos, como o EIA/ RIMA. Em caso positivo, o nível de abordagem do estudo deverá ser definido pelo órgão ambiental competente. Em caso negativo, serão utilizados outros instrumentos que permitam um controle legal das atividades do empreendimento. Na dúvida, o órgão ambiental exigirá uma avaliação prévia da área de influência do empreendimento. A segunda etapa (Etapa de Análise Detalhada) é aplicada apenas aos empreendimentos em que foram exigidos estudos detalhados de impacto ambiental (por exemplo, o EIA/RIMA). Este processo vai desde a definição do conteúdo a ser abordado pelo estudo até a sua aprovação (ou não), através do processo de licenciamento ambiental. Desta forma, esta etapa apenas é aplicada nos casos de atividades que tenham o potencial de causar impactos significativos (BITAR; ORTEGA, 1998). No caso de aprovação do projeto, será aplicada a terceira etapa, pós-aprovação do processo de AIA. Nesta etapa, o órgão ambiental competente, através de uma equipe técnica, irá acompanhar e fiscalizar as atividades do empreendimento e as medidas impostas pela licença ambiental concedida (SÁNCHEZ, op.cit.). Em suma, Oliveira et al. (2009) destacam que os principais instrumentos que estruturam o processo de AIA são: o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e a Licença Ambiental. No EIA são detalhadas as condições ambientais da área a ser afetada pela localização, instalação, operação e ampliação de um empreendimento com atividades potencialmente degradadoras do ambiente. Este estudo é exigido, em muitas situações, pelo órgão licenciador como um requisito para o pedido de licença ambiental pelo empreendedor da atividade (OLIVEIRA et al., 2009). Segundo o artigo 6º da resolução Conama de 1986, o Estudo de Impacto Ambiental deve contemplar:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

c) o meio socioeconômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

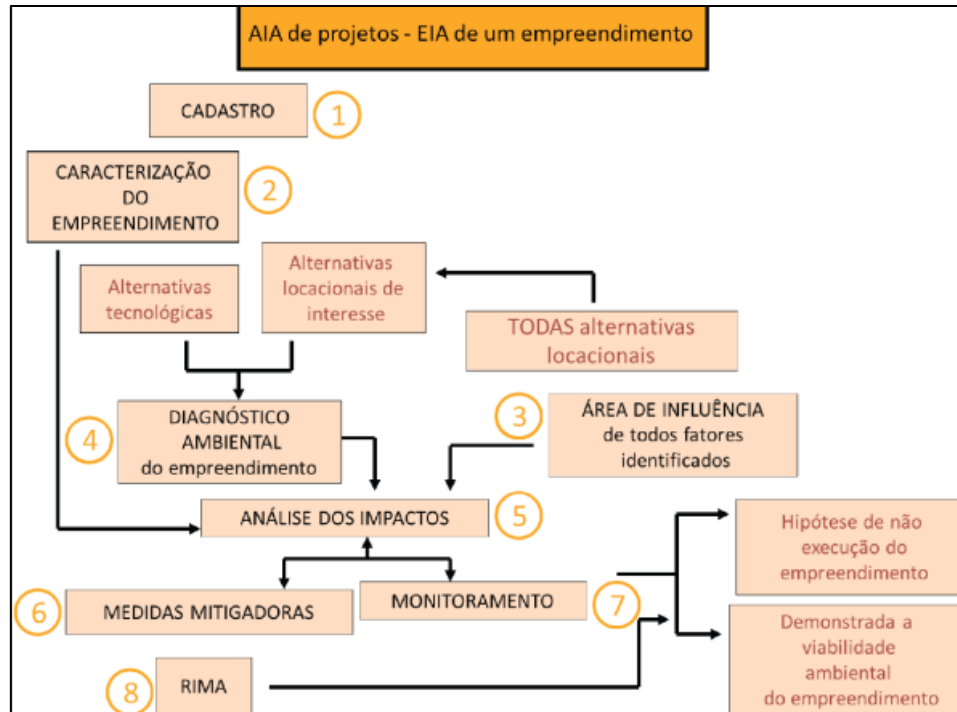
II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados) (BRASIL, 1986).

Portanto, de maneira geral, o EIA deve considerar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, identificar e avaliar os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade, definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos (área de influência do projeto) e considerar os planos e programas governamentais que existem no local (BRASIL, 1986). A figura a seguir esquematiza as principais etapas envolvidas na elaboração do EIA.

Figura 10. Principais etapas do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), conforme Furlanetto (2012).



O Relatório de Impacto Ambiental apresenta as informações técnicas geradas no EIA em um documento em linguagem acessível ao público. Segundo as orientações do parágrafo único do artigo 6º da Resolução Conama (1986),

‘o RIMA deve ser apresentado de forma objetiva e adequada à sua compreensão. As informações devem ser traduzidas em linguagem acessível, ilustradas por mapas, cartas, quadros, gráficos e demais técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender as vantagens e desvantagens do projeto, bem como todas as consequências ambientais de sua implementação (CONAMA, 1986).’

Na sequência, para a localização, instalação, operação e ampliação de um empreendimento é necessário que o empreendedor adquira, perante órgão licenciador competente, uma licença ambiental, através da qual serão estipuladas condições, restrições e métodos de controle ambiental das atividades. Todas as diretrizes impostas pela licença deverão ser realizadas pelo empreendedor, que estará sujeito a penalidades e ao cancelamento da licença no caso de não cumprimento ou inadequações das atividades. Esta etapa, denominada de Licenciamento Ambiental, é constituída por 3 fases, segundo a Resolução SMA

42/94: 1-) Licença prévia (LP); 2-) Licença de instalação (LI) e 3-) Licença de operação (LO) (SMA, 1994). De acordo com Araújo (2002), a LP é concedida na fase preliminar do empreendimento e contém os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, os quais deverão orientar o projeto executivo. A LI, por sua vez, é concedida com base no projeto executivo aprovado e autoriza o início de implantação do empreendimento. A última fase – a LO – é concedida após a verificação da compatibilidade da instalação com o previsto na LP e na LI, que autoriza a operação do empreendimento (ARAÚJO, 2002).

2.3.1. Estudos de alternativas locais para implantação de aterros sanitários e incineradores

Dentre as atividades modificadoras do ambiente que necessitam submeter-se ao processo de Avaliação de Impacto Ambiental destacam-se os aterros sanitários, unidades que podem compor as CTRs. Bitar e Ortega (1998) apontam que:

‘O Instrumento de Avaliação de Impacto Ambiental deve ser elaborado para qualquer empreendimento que possa acarretar danos ou impactos ambientais futuros, sendo executado antes da instalação do empreendimento. Com este enfoque, tem sido utilizado principalmente nos seguintes empreendimentos: minerações, hidrelétricas, rodovias, **aterros sanitários**, oleodutos, **indústrias**, estações de tratamento de esgoto e loteamentos. (grifo nosso).’

Esta obrigatoriedade está prevista na Resolução Conama n.1 de 1986, que estabelece os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e aplicação da Avaliação de Impacto Ambiental.

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

[...] X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos (BRASIL, 1986, grifo nosso).

Cunha e Consoni (1995) salientam a importância da realização do AIA para projetos envolvendo a disposição de resíduos sólidos. Nesse sentido, segundo os autores, a instalação de aterros sanitários sem critérios técnicos adequados e bem

definidos podem acarretar uma série de problemas ambientais posteriores, envolvendo as águas subterrâneas e a potencialização de processos do meio físico, além de conflitos no uso e ocupação do solo (Quadro 5).

Quadro 5. Problemas socioambientais induzidos pela instalação não-criteriosa de aterros sanitários. Fonte: Cunha e Consoni (1995).

CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	
ORIGEM	CAUSAS
Falha na Impermeabilização da Base (Aterro/Lagoa de Tratamento de Chorume)	- Impermeabilização (solo/rocha) incompatível com os percolados - Má compactação
Recalques (Aterro/Lagoa de Tratamento de Chorume)	- Solo natural com propriedade inadequada - Recalques devido às alterações (carga, aumento da umidade, agressão ao solo, etc.)
Elevação do Nível d'Água Acima da Base do Aterro	- Dados de projeto insuficientes (nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc.) - Dimensionamento inadequado do sistema de drenagem
POTENCIALIZAÇÃO DE PROCESSOS DO MEIO FÍSICO	
ORIGEM	CAUSAS
Escorregamentos/ erosão linear	- Cortes com altos ângulos nas encostas; - Não consideração da atitude de estruturas (por ex., foliação ou fraturamento); - Supressão da vegetação; - Má compactação dos aterros e má disposição dos resíduos.
Assoreamento	- Erosão dos locais de solos expostos - Carreamento de partículas em razão de insuficiências dos sistemas de drenagem; - Supressão da vegetação.
CONFLITOS DE USO E OCUPAÇÃO	
ORIGEM	CAUSAS
Restrições Ambientais	- Utilização de áreas com restrições ambientais diversas (APA's, áreas de mananciais e outras Unidades de Conservação).
Desconforto à População	- Proximidades de núcleos populacionais / habitações; - Problemas advindos de má operação (odores, moscas, etc.); - Sobrecarga da infraestrutura local; - Subestimação da expansão urbana.

Ademais, de maneira geral, a má disposição dos resíduos sólidos, sem a observação e cumprimento dos critérios técnicos, pode comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, por serem fontes de compostos orgânicos voláteis, pesticidas,

solventes e metais pesados (GIUSTI, 2009). A decomposição da matéria orgânica presente no lixo resulta na formação do chorume, que pode contaminar o solo e as águas superficiais ou subterrâneas pela contaminação do lençol freático. Pode ocorrer também a formação de gases tóxicos, asfixiantes e explosivos que se acumulam no subsolo ou são lançados na atmosfera (GOUVEIA; PRADO, 2010). Os locais de armazenamento e de disposição final tornam-se ambientes propícios para a proliferação de vetores e de outros agentes transmissores de doenças. Pode haver também a emissão de partículas e outros poluentes atmosféricos, diretamente pela queima de lixo ao ar livre ou pela incineração de dejetos sem o uso de equipamentos de controle adequados. De modo geral, os impactos dessa degradação estendem-se para além das áreas de disposição final dos resíduos, afetando toda a população (GOUVEIA, 2012).

Além desses impactos mais imediatos no ambiente, a disposição de resíduos sólidos de maneira inadequada e indiscriminada pode contribuir de maneira significativa para o processo de mudanças climáticas. A decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nos resíduos gera grandes quantidades de GEE (Gases de Efeito Estufa), principalmente o metano (CH_4), segundo gás em importância dentre os considerados responsáveis pelo aquecimento global (PEREIRA et al., 1999).

Com o objetivo de evitar e atenuar estes impactos, a Resolução Conama n.1 de 1986, torna obrigatório a realização de estudos de alternativas locais para a implantação de empreendimentos com tal potencial de impacto, a necessidade de avaliar alternativas tecnológicas ao empreendimento, ou até mesmo avaliar os benefícios da não execução do projeto.

Artigo 5º - O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos expressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:

I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de (projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto BRASIL, 1986).

Neste contexto, Carson (1992), McCold e Saulsbury (1998) e Valve (1999) destacam que a busca por alternativas locais e sua comparação representam um dos pilares da Avaliação de Impacto Ambiental, pois procura assegurar que o

proponente considere outras abordagens factíveis, tanto para o projeto quanto para os meios de prevenir danos ambientais. Assim, é possível ampliar o leque de alternativas viáveis, conduzindo àquelas que se mostram mais adequadas para análises mais profundas no escopo dos Estudos de Impacto Ambiental (SOUZA, 2006). Furlanetto (2012) complementa esta assertiva, ressaltando que nos estudos de alternativas locacionais o empreendedor busca responder aos interessados sobre a viabilidade ambiental de seu empreendimento. Segundo o mesmo autor, este tipo de investigação integra o Estudo de Impacto Ambiental e necessita considerar de maneira mais adequada possível as questões socioambientais e a participação da sociedade.

Moreira (2002) salienta que a implantação de um aterro passa por várias etapas e o processo completo de seleção é constituído por um sistema complexo que integra aspectos relacionados à engenharia, economia, à avaliação ambiental, a legislação vigente e a opinião pública. Nesse sentido, para a realização de estudos de alternativas locacionais de aterros sanitários Cunha e Consoni (1995) definiram 5 etapas a serem seguidas:

- diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos na região de estudo e prognóstico da situação futura;
- estudo geológico-geotécnico e ambiental para seleção de áreas;
- Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA);
- projeto de viabilidade técnica e econômica do aterro; e,
- estudo e definição de órgão gestor do empreendimento (CUNHA; CONSONI, 1995).

Ademais, a norma ABNT/ NBR n. 15849 (2010) define as diretrizes para a implementação do respectivo empreendimento para destinação de resíduos sólidos urbanos, a saber:

O local utilizado para a implantação de aterros sanitários [...] para resíduos sólidos urbanos deve ser tal que:

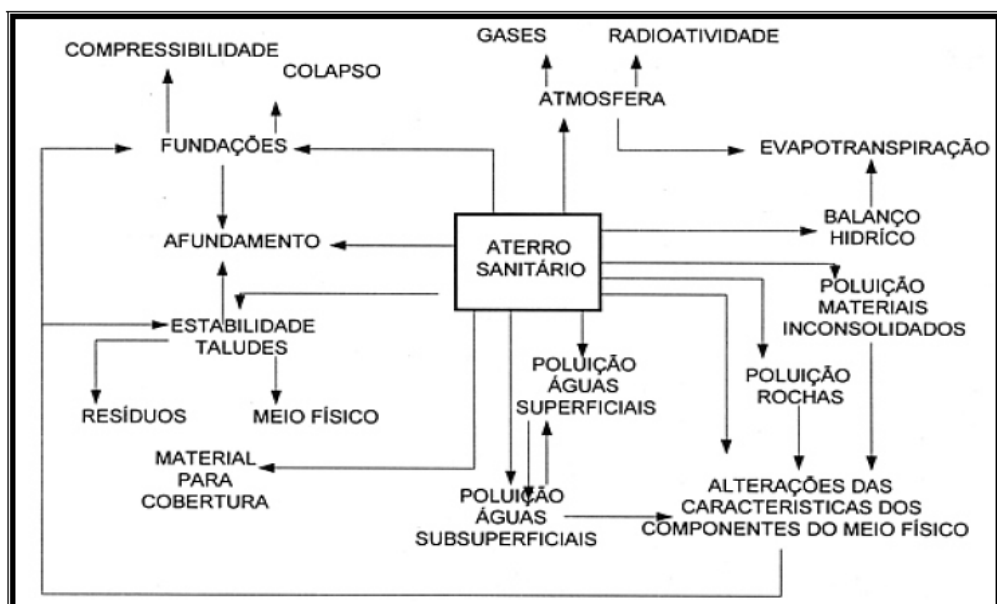
- a-) minimize o potencial de impacto ambiental e sanitário associado à instalação, operação e encerramento do aterro, em consonância com a legislação ambiental;
- b-) minimize os custos envolvidos;
- c-) maximize a aceitação da instalação pela população; e

d-) esteja de acordo com a legislação de uso e ocupação do solo, com a legislação ambiental e demais normas pertinentes (ABNT, 2010).

Portanto, de maneira geral, os objetivos dos estudos locais de aterros sanitários devem estar voltados para a identificação de sítios nos quais os resíduos possam ser dispostos economicamente e com o menor custo ambiental possível (O'LEARY; CANTER, 1986). As diretrizes do IPT (1995) para a seleção de locais adequados para a implantação destes empreendimentos orientam que sejam analisados os meios físico, biológico, socioeconômico, a legislação vigente e o gerenciamento dos resíduos.

Em relação aos aspectos técnicos da seleção de locais para implantação e planejamento de aterros sanitários, Zuquette et al. (1997) destacam que é imprescindível o seu conhecimento e que as interações entre os componentes deste empreendimento e o meio ambiente têm sido alvo de inúmeros estudos no Brasil e no cenário mundial. Nesse sentido, diversos escritórios de engenharia e órgãos públicos têm estabelecido seus critérios e procedimentos, buscando sistematizar e objetivar o processo de seleção de áreas para aterros sanitários.

Figura 11. Interações técnicas entre o aterro sanitário e o meio ambiente, conforme Zuquette et al. (1997)



Em âmbito nacional, destaca-se a resolução NBR 15849 (ABNT, 2010), que enumera os principais critérios para a seleção de áreas passíveis a implantação de aterros sanitários de pequeno porte:

Para a avaliação da área a ser utilizada [...] devem ser observados no mínimo os seguintes fatores de análise:

a-) para tipo consistência e granulometria das camadas de subsolo na base do aterro; recomenda-se a utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (solos argilosos; argilo-arenosos ou argilo-siltosos);

b-) no caso de existência de corpos d'água superficiais na área ou em seu entorno imediato; recomenda-se o respeito a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica ou curso d'água;

c-) proximidade do freático em relação à base do aterro ou em seu entorno imediato;

d-) ocorrência de inundações: as áreas com essas características não devem ser utilizadas;

e-) as características topográficas da área devem ser tais que permitam uma das soluções adotáveis para o preenchimento do aterro, recomendando-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;

f-) recomenda-se distância do limite da área útil do aterro a núcleos populacionais vizinhos mínima de 500 m;

g-) a vida útil previsível do aterro sanitário [...] deve ser superior a 15 anos (ABNT, 2010).

A mesma resolução ressalta que estes critérios podem ser alterados ou justificados pelo projetista, em função de situações especiais.

Nesse sentido, as recomendações do IPT (1995) para a implantação de aterros sanitários é que sejam realizadas análises: 1- das características geológico-geotécnicas, que evidenciem as principais características do meio físico, incluindo os processos que possam interferir na obra a ser instalada; 2- das águas superficiais e subterrâneas, através da avaliação da profundidade do lençol freático ou manancial de interesse ao abastecimento; 3- das características pedológicas, através da indicação dos tipos de solos, distribuição e espessuras; 4- da declividade adequada; 5- das medidas de distâncias a núcleos de habitações e cursos d'água; 6- da disponibilidade do material de empréstimo, evidenciando sua disponibilidade e características. De acordo com a mesma instituição, os locais mais adequados para a implantação deste empreendimento devem estar situados não mais que 10 quilômetros do centro a ser atendido e distanciar-se mais que 200 metros de cursos d'água (córregos/ nascentes/ rios) (IPT, 1995).

Ademais, destacam-se ainda as seguintes orientações para nortear os estudos locais de aterros sanitários:

- distância mínima dos centros urbanos de 500 metros;

- o local não pode conter processos de erosão linear, movimentos de massa, subsidência (para o caso de relevo cárstico) e existência de cavernas;
- as encostas suaves são as mais adequadas;
- encostas íngremes e planícies aluviais são locais altamente restritivos;
- local com altas taxas de evapotranspiração são favoráveis por auxiliar a redução de carga poluidora;
- para aterros em camadas a declividade do local deve estar entre 5° a 17°; para aterro em valas os valores de declividade devem variar de 0° a 5° (LEVINE, 1996; ZUQUETTE et al., 1994).

A respeito dos incineradores, caracterizado também como um dos possíveis elementos da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), a resolução Conama n. 316 (2002) salienta que sua implantação não pode ser realizada em áreas residenciais e complexos hospitalares. Segundo os autores italianos Ferretti e Pomarico (2012), os seguintes critérios técnicos também devem ser observados:

Quadro 6. Critérios técnicos para instalação de incineradores, segundo Ferretti e Pomarico (2012).

Critério técnico	Obrigatoriedade
Profundidade mínima do lençol freático	3 metros
Áreas sujeitas à inundação	Locais com período de inundação menor que 50 anos devem ser rejeitadas
Áreas protegidas	Devem ser excluídas da análise
Altimetria	Áreas com altitudes maiores que 1000 metros devem ser excluídas da análise
Presença de escorregamentos	Áreas com escorregamentos ativos não devem ser consideradas
Distância de corpos aquáticos	Deve ser maior que 150 metros
Uso da terra	Evitar área de vegetação nativa
Distância de rodovias	Deve ser maior que 60 metros
Densidade populacional	Evitar área de grandes aglomerados populacionais
Distância a assentamentos humanos	Deve ser maior que 600 metros
Distância a indústrias perigosas	Deve-se evitar proximidade a estes locais

O processo de Avaliação Ambiental também é exigido para a instalação deste empreendimento, com obrigatoriedade de realização do EIA/ RIMA, além das etapas

de licenciamento ambiental. Cabe destacar que a incineração também pode ser utilizada para o tratamento de resíduos dos serviços de saúde. No Brasil, a incineração dos resíduos sólidos para geração de energia ainda se desenvolve de maneira incipiente, de modo que existe apenas uma deste gênero no país. A Unidade de Recuperação de Energia (URE) de São Bernardo do Campo é capaz de processar até mil toneladas de resíduos por dia, gerando 30 megawatts de energia elétrica – quantidade suficiente para abastecer uma cidade de até 200 mil habitantes (PENSAMENTO VERDE, 2013). O local para sua instalação foi um antigo lixão do município, desativado há 10 anos, que segundo os mesmos autores, atende aos requisitos da AIA e da resolução Conama n. 316 (2002). Cabe ressaltar que no cenário mundial esta prática é amplamente adotada, uma vez que elimina materiais perigosos (como resíduos hospitalares e tóxicos) e diminui a quantidade de resíduos dispostos no ambiente (MENEZES et al., 2000). Porém, quando comparado com outros métodos, o processo de incineração apresenta desvantagens, como a alta emissão de gases tóxicos e a geração de resíduos sólidos nocivos, tais como cinzas volantes (material a ser filtrado). Sendo assim, o sistema de incineração requer uma unidade de tratamento de gases previamente ao seu lançamento, em atendimento aos parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, e o encaminhamento seguro e cauteloso das cinzas para a destinação apropriada (QUINA et al., 2008).

Assim, dentre os potenciais impactos ambientais provocados por um incinerador, destacam-se:

- geração de gases tóxicos contendo metais pesados tais como Mercúrio, Arsênio e Cromo;
- cinzas tóxicas, que devem ser dispostas em aterro industrial controlado de forma a evitar contaminação de solos e lençóis freáticos;
- formação de dioxinas e furanos, gases tóxicos gerados pela queima de materiais halogenados orgânicos quando a combustão secundária ocorre com temperatura inferior a 800°C (PATH, 2005).

2.3.2. Metodologias para seleção de áreas para implantação de aterros sanitários

Historicamente, a seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos urbanos foi feita muito mais com base na proximidade da área produtora dos resíduos e na disponibilidade de grandes cavas (de mineração), do que quaisquer outros critérios geológicos de adequabilidade (HAMER, 2003). Entretanto, de acordo com o IPT (1995), a escolha destes locais deve considerar as diferentes características e aptidões do meio físico, uma vez que uma área adequada oferecerá menos risco ambiental e à saúde pública.

Nesse sentido, a seleção de áreas para a disposição de resíduos sólidos é uma tarefa complexa a ser cumprida no processo de implantação de um aterro sanitário. Desta forma, em vários países os pesquisadores têm adotado critérios próprios para decidir qual a melhor área para a implantação de aterros sanitários (MOREIRA, 2002).

Marques (2002) salienta que a decisão pela melhor área a ser utilizada envolve a análise de todos os aspectos inerentes ao processo e suas inter-relações, e dos tipos e variabilidade dos atributos envolvidos. Para a correta utilização e análise destes atributos, é necessário hierarquizá-los, considerando-se o grau de influência e importância de cada um deles em relação ao objetivo proposto e aos demais atributos, sem que haja a supervalorização de um atributo, evitando assim que a análise fique prejudicada.

As metodologias para os estudos de alternativas locais para a implantação de aterros sanitários podem ser qualitativas ou quantitativas. No caso das qualitativas, tal qual o presente trabalho, é realizada uma avaliação e hierarquização dos atributos do meio físico, baseada na experiência e conhecimento deste atributo por especialistas da área. A partir desta, é gerada uma carta de zoneamento geotécnico, composta por áreas classificadas para a disposição dos resíduos sólidos. Para a metodologia quantitativa, são avaliados os atributos para o zoneamento de uma área, associando o conhecimento técnico a algoritmos matemáticos e computacionais, diminuindo a subjetividade da análise (MOREIRA, 2002).

Utilizando-se da metodologia qualitativa, Brollo (2001) selecionou áreas aptas à implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Campinas (SP) a partir da elaboração do mapa de uso e ocupação do solo e do mapa de compartimentação fisiográfica. A autora destacou que a elaboração do mapa de uso e ocupação “identifica áreas que [...] não permitem a instalação de empreendimentos para

disposição de resíduos” (BROLLO, 2001, p.69). Assim, são diferenciados os locais em que não há impedimentos legais e áreas inviáveis ou viáveis para a disposição de resíduos. A respeito do mapa de compartimentação fisiográfica, a autora salienta que as unidades originadas por esta etapa

[...] apresentam características relacionadas às rochas, ao relevo e ao material inconsolidado em associações específicas que determinam diferentes fragilidades e potencialidades para o terreno, e, conseqüentemente, respostas diferenciadas às intervenções antrópicas (BROLLO, 2001, p.71).

Posteriormente, em ambiente computacional, a autora interpolou os dados obtidos (mapa de uso e ocupação/ mapa de unidades fisiográficas), cujo resultado foi o mapa de áreas aptas potenciais à disposição de resíduos sólidos.

Moreira et al. (2008), com o emprego da metodologia quantitativa, realizaram uma caracterização de áreas preferenciais para a instalação de aterros sanitários no município de Descalvado (SP). Diferentemente de Brollo (2001), que utilizou a compartimentação fisiográfica e o mapa de uso e ocupação como ponto de partida para suas análises, os respectivos autores realizaram em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) a análise multicriterial, interpolando dados da área relacionados à declividade, material inconsolidado, permeabilidade, geologia, escoamento superficial, distância dos corpos d'água e distância de rodovias. Assim, cada atributo recebeu um peso de acordo com o seu conhecimento técnico, de modo que o peso final de cada variável foi estimado com a utilização do método AHP (*Analytical Hierarchy Process*) aplicado à matriz de comparação pareada. Cabe ressaltar que a análise multicriterial, segundo Tsuhako (2004), consiste em um processo de tomada de decisão, no qual são avaliados diversos critérios de acordo com a sua importância e seu peso relativo que exercem em relação ao fenômeno analisado. De um modo geral, os processos de tomada de decisão, pretendem satisfazer a um ou múltiplos objetivos e são desenvolvidos avaliando-se um ou vários critérios, que podem ter aspectos econômicos, sociais, políticos e ambientais, entre outros. A seleção de áreas para a implantação de aterros sanitários é enquadrada como um processo de decisão de natureza multicriterial, pois são avaliados e hierarquizados diversos atributos para orientar a seleção de áreas aptas, entre diversas alternativas, com base nos critérios adotados (CALIJURI et al., 2002).

Proske et al. (2005) realizaram um levantamento bibliográfico e análise das principais metodologias empregadas para a seleção de áreas adequadas para a disposição de resíduos sólidos. De maneira geral, os trabalhos avaliados englobaram a utilização de técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG com dados geológico-geotécnico, hidrogeológicos e socioeconômicos. Ademais, os autores destacam que a técnica utilizada não pode ser utilizada para a disposição de resíduos radioativos, pois este tipo de material necessita de uma maior cautela e de estudos detalhados para sua alocação, sendo de responsabilidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Portanto, a realização de estudos de seleção de áreas deve determinar quais tipos de material poderão ser dispostos no local. A respeito da utilização do SIG em estudos locais, os mesmos autores destacam que esta ferramenta permite a modelagem espacial, a criação de novos mapas por meio da combinação de diferentes planos de informação e a criação de um modelo conceitual (PROSKE et al., 2005).

Ademais, os mapas e resultados produzidos podem ser utilizados para a tomada de decisões ou planejamento ambiental, seja pelo poder público ou pela sociedade civil como um todo (PROSKE et al., 2005).

Em uma abordagem quantitativa, Ersoy e Bulut (2008), utilizaram técnicas de geoprocessamento e o método AHP (*Analytical Hierarchy Process*), com a finalidade de selecionar áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários no nordeste da Turquia. A partir de dados relacionados à declividade do terreno, ao uso e ocupação da terra, à geologia, à hidrografia e à ocorrência de escorregamentos no local, os autores determinaram o peso de cada uma destas variáveis com o método AHP. Posteriormente, em ambiente SIG, o mapa de locais mais adequados para a implantação de aterros sanitários foi realizado segundo o valor que cada atributo recebeu na matriz de comparação gerado pelo método AHP (ERSOY; BULUT, 2008).

A metodologia utilizada pelo IG (1999), por outro lado, é essencialmente qualitativa e tem como objetivo identificar áreas potenciais para tratamento e disposição de resíduos sólidos domésticos e industriais. Neste método são considerados quatro aspectos essenciais: os sociopolíticos, fisiográficos, hidrológicos e climáticos. Os aspectos sociopolíticos estão relacionados às diferentes classes de uso e ocupação e possíveis unidades de conservação que ocorrem no local de interesse à implantação do empreendimento. Os aspectos

hidrográficos, por sua vez, estão representados pela malha hidrográfica do local, cuja avaliação depende da proximidade do aterro sanitário. Os dados fisiográficos englobam os aspectos geológicos e geomorfológicos da área, cujas unidades produzidas permitem

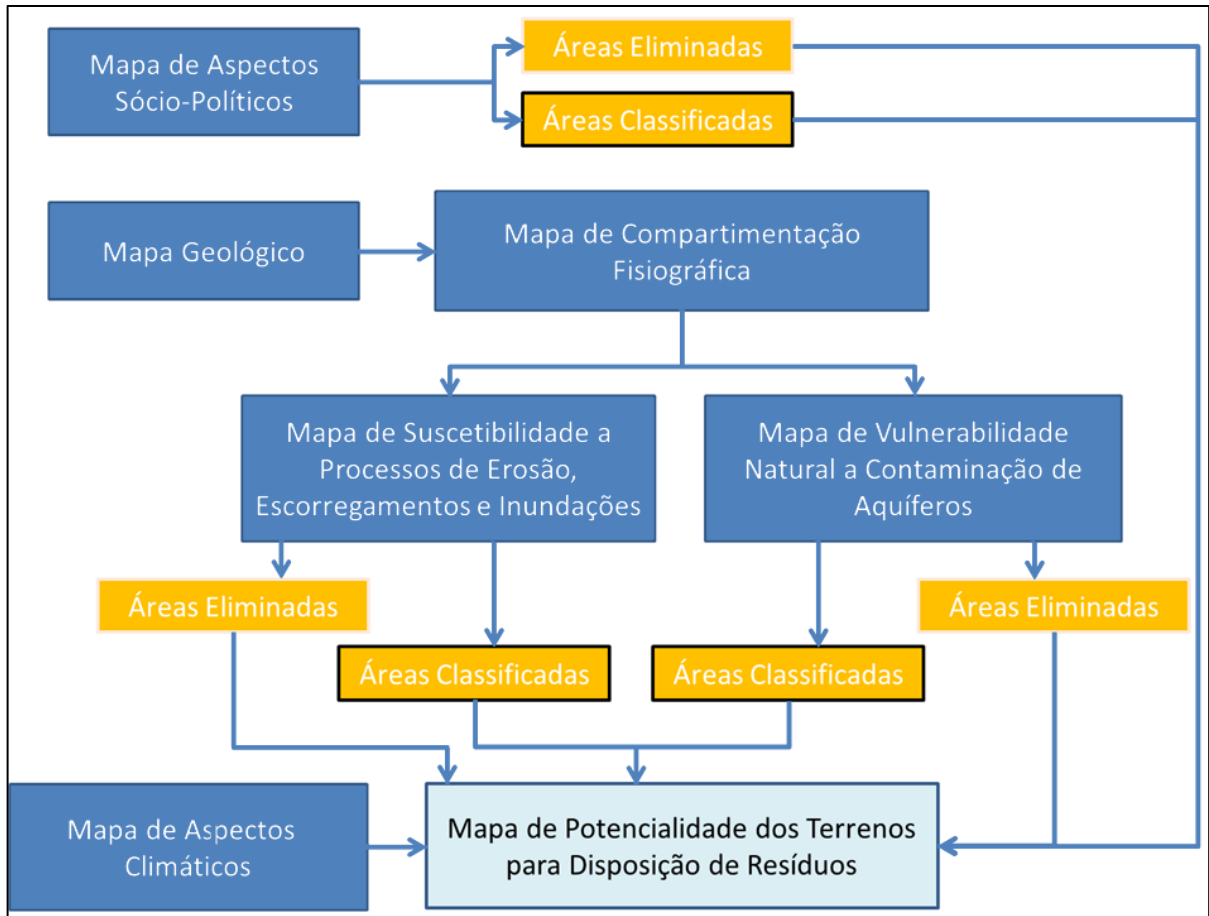
[...] identificar as potencialidades e fragilidades do terreno em relação aos riscos de contaminação dos solos e águas e à segurança do empreendimento pela ocorrência de processos de erosão, escorregamentos e inundações (LINO, 2007).

Para cada aspecto elencado, a respectiva metodologia considera quais são os locais mais aptos para a instalação do aterro sanitário, de acordo com critérios já estabelecidos pelo próprio IG (1999). Assim, são consideradas apenas duas classes para a categorização das variáveis: áreas eliminadas e áreas classificadas.

Ademais, os aspectos climáticos reúnem as informações acerca da pluviosidade, vento e inversões térmicas. Tais elementos estão respectivamente relacionados à ocorrência dos processos geodinâmicos (erosão, escorregamento, inundação), ao transporte de odores e impedimento à dispersão de poluentes. Cabe ressaltar que estes dados não possuem caráter classificatório / eliminatório, e sim de hierarquização das áreas para estudos posteriores (IG, 1999). A figura 12 exemplifica as etapas de seleção de áreas aptas para a implantação de aterros sanitários, segundo a metodologia do IG (1999).

Os métodos de seleção de áreas têm um papel importante na orientação da escolha de locais favoráveis à disposição final dos resíduos sólidos, por seguir critérios técnicos. Ademais, o emprego de técnicas de geoprocessamento aliadas à atribuição de pesos para cada variável, seguindo os mesmos critérios técnicos, reduz o custo e o tempo de seleção de locais para implantação destes empreendimentos (ERSOY; BULUT, 2008).

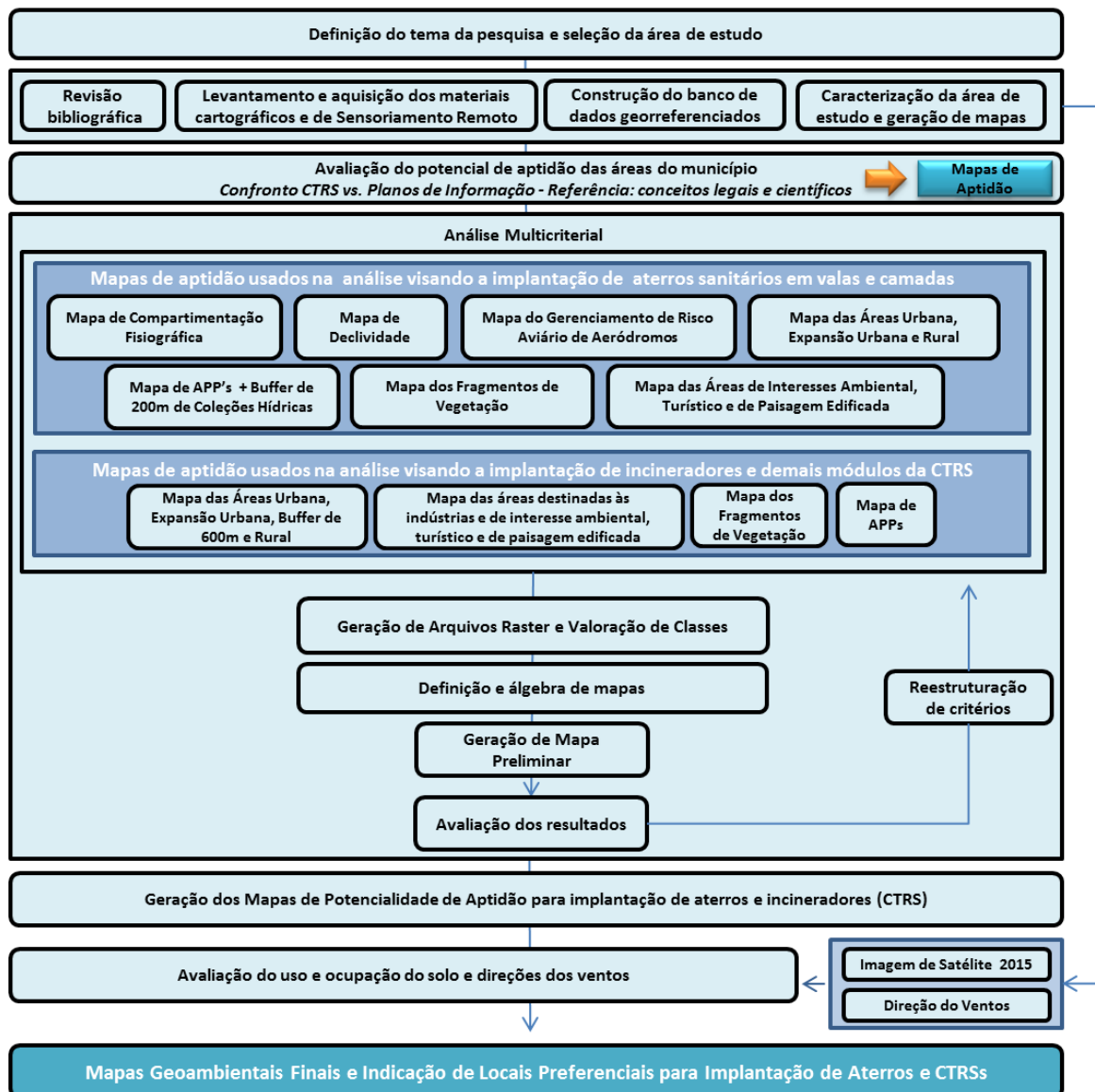
Figura 12. Metodologia do IG (1999) para seleção de áreas aptas para a implantação de aterros sanitários, conforme IG (1999).



3. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

Este capítulo apresenta as etapas sequenciais, do início aos resultados finais, que se sucederam no presente trabalho. A figura 13 apresenta o fluxograma das etapas da elaboração da dissertação de mestrado.

Figura 13. Fluxograma das etapas deste trabalho.



3.1. Definição do tema de pesquisa e seleção da área de estudo

A seleção do tema e da área geográfica do estudo marcaram o início da pesquisa. Nesta etapa, de cunho reflexivo, buscou-se explorar a temática dos

estudos de alternativas locacionais associada a um assunto e área que permitissem a realização de um projeto de interesse da sociedade.

Houve uma etapa preliminar de levantamento bibliográfico e desta maneira foi possível optar pela utilização de um método de estudo qualitativo, onde as informações do meio-físico representadas pelo estudo de compartimentação fisiográfica norteariam as principais diretrizes para escolhas de locais para possíveis instalação de Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos.

3.2. Revisão bibliográfica

Esta etapa consistiu no levantamento das principais referências bibliográficas referentes à temática abordada. As metodologias de seleção de áreas para aterros sanitários e incineradores, o mapeamento geoambiental, a compartimentação fisiográfica, a fotointerpretação e a avaliação de impactos ao meio ambiente de empreendimentos desta natureza foram os principais temas estudados nesta fase. Para tal, foram realizadas pesquisas e leituras de artigos de periódicos, dissertações, teses e livros acessados através da ferramenta de busca Google Acadêmico. A ferramenta “Google Acadêmico” é especializada em encontrar produções científicas relevantes presentes na rede internacional de computadores. Ademais, foi realizada uma extensa varredura em *sites* de instituições públicas federais, estaduais e municipais e de instituições privadas. Destacam-se as consultas à legislação federal brasileira vigente, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade Estadual de Campinas (CEPAGRI), ao Instituto Agrônomo (IAC), ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), à Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, à Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e ao Poder Executivo do Município de Santa Cruz da Conceição.

As principais palavras-chave (*key-words*) utilizadas no levantamento bibliográfico foram compartimentação fisiográfica (*physiographic compartmentalization*); mapeamento geoambiental (*geoenvironmental mapping*); mapeamento geotécnico (*geotechnical mapping*), fotointerpretação

(*photointerpretation*), aterro sanitário (*sanitary landfill*), incinerador (*Incinerator*), análise multicriterial (*multicriteria analysis*), avaliação de impacto ambiental (*environmental impact assessment*), alternativas locais (*locational alternatives*), análise de aptidão de terras (*land suitability analysis*), localização de aterros sanitários (*landfills siting*), tecnologia de tratamento de resíduos sólidos (*solid waste treatment technology*), gestão de resíduos sólidos (*solid waste management*) e tecnologias para recuperação de recursos (*technologies for resource recovery*).

3.3. Análise da área de estudo

A área de estudo foi analisada por meio de pesquisa bibliográfica, seguida da elaboração de diversos mapas temáticos. Nesta etapa buscou-se expor todas as características locais e regionais que fazem de alguma forma interface e apresentam relevância para as fases de planejamento, implantação e funcionamento de uma CTRS que apresente em suas unidades um aterro sanitário, um incinerador e demais módulos de tratamento.

3.4. Levantamento e aquisição dos materiais cartográficos e de Sensoriamento Remoto

Nesta fase do projeto foram adquiridos mapas, cartas e imagens de sensoriamento remoto. Assim, foram realizadas buscas e *downloads* de *sites* governamentais, de trabalhos acadêmicos e de servidores Google, onde foi adquirida a imagens de satélites da área referente ao ano de 2015 (*Digital Globe* e *CNES/Astrium*).

3.5. Geração de banco de dados georreferenciados

Nesta etapa foi criado o banco de dados, que subsidiou o desenvolvimento da pesquisa e posteriormente a análise multicriterial e a criação do mapa geoambiental com os locais preferenciais para implantação de aterros e unidades da CTRS. Todos os planos de informação foram georreferenciados no *datum* WGS84 com sistema de

projeção plana UTM (Zona 23 Sul). Foram reunidos ou elaborados diversos mapas, conforme listados a seguir:

1. Mapa de compartimentação fisiográfica – incluindo diversos mapas intermediários, contendo informações geológicas, de formas de relevo, materiais e solos, permeabilidade, resistência à erosão e de processos de dinâmica superficial (REIS et al., 2014);
2. Mapa Pedológico, extraído de mapa elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em escala 1:150.000 (IAC, 2005);
3. Mapa de declividade, gerado a partir das cartas topográficas das Folhas Leme e Corumbataí, em escala 1:50.000 (IBGE, 1971a; 1971b);
4. Mapa hipsométrico gerado a partir do banco de dados do TOPODATA (INPE, 2008);
5. Mapa hidrográfico, representado pelas curvas de nível e hidrografia das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000 (IBGE, 1971a; 1971b);
6. Mapa com áreas de recarga de aquíferos, gerado a partir das informações das cartas geológicas das Folhas Leme e Corumbataí em escala 1:50.000 (IG, 1980; 1984);
7. Mapa de áreas de preservação permanente (APP's) referentes à proteção de corpos hídricos, gerados a partir da base hidrográfica do IBGE (IBGE, 1971a; 1971b) e no enquadramento da norma brasileira (BRASIL, 2012);
8. Mapa de remanescentes florestais do ano de 2015, gerado através de fotointerpretação em imagens de satélite do ano de 2015 (GOOGLE EARTH, 2015);
9. Imagem de satélite para avaliação de uso e cobertura do solo para regiões com adequado potencial para implantação de CTRSs, através de fotointerpretação (GOOGLE EARTH, 2015);
10. Mapas da área urbana atual e de expansão urbana elaborados através de Google Earth (2015) e Santa Cruz da Conceição (2007) e mapa com os aglomerados humanos regionais (GOOGLE EARTH, 2015)
11. Mapas com zonas de interesse municipal no escopo do Plano Diretor, incluindo áreas destinadas à expansão urbana e à implantação de indústrias, áreas de interesse ambiental e turístico, e macro zonas rural e urbana (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007);
12. Certificação de ausência de unidades de conservação na região, verificado junto ao Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2016);
13. Mapa com a infraestrutura de transporte terrestre, elaborado por Reis et al. (2014) e ajustado com a base de dados da Esri (2015);

14. Mapa com as áreas de proteção de risco aviário de aeródromos próximos, elaborado com base em dados de Esri (2015), Brasil (2011) e Perez (2013);
15. Mapa regional com informações de densidade demográfica nos raios de 100, 200 e 300 km a partir do município de Santa Cruz da Conceição (elaborado com base em IBGE, 2010).
16. Mapa do panorama da qualidade da gestão dos resíduos sólidos do Estado de São Paulo em cada município (PEREZ, 2013).

3.5.1. Compartimentação fisiográfica

Segundo Oliveira (2004a), a compartimentação fisiográfica é o método utilizado para agrupar os elementos constituintes do meio físico de acordo com suas semelhanças e diferenças. Para que se possa incluir um elemento em um grupo deve-se, primeiro, verificar se este elemento apresenta características comuns àquelas do universo analisado. Assim, o processo de compartimentação deve ser precedido por um processo de classificação, onde os elementos que apresentam características iguais ou mais próximas entre si são reunidos (OLIVEIRA, 2004a).

Segundo Vedovello (2000), a compartimentação fisiográfica é o processo de divisão de uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e distintas das áreas vizinhas. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a denominação de “classes” de unidades fisiográficas para cada nível de escala.

A compartimentação é efetuada pela análise dos elementos componentes do meio físico, sendo estes de natureza geológica ou geomorfológica. Para a sua realização é necessário identificar os aspectos locais desses elementos, avaliando quais as suas formas de ocorrência (VEDOVELLO; MATTOS, 1993, 1998).

As principais referências para o processo de compartimentação são as propriedades texturais (relevo, forma e estrutura de drenagem) do meio analisado (CARDOSO et al., 2009; SILVA et al., 2010; ZAINÉ, 2011).

A partir do estudo dessas propriedades, através da visualização e análise de dados de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e imagens de satélite) e trabalhos de campo é possível elucidar diversas propriedades do meio físico (características geológico-geotécnicas) que podem ser úteis para inúmeros propósitos. Qualquer interferência de ocupação sobre o meio pode ter o seu

planejamento beneficiado quando estiverem disponíveis informações sobre a compartimentação fisiográfica.





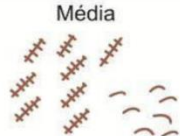

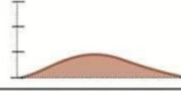
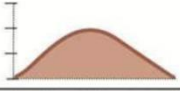
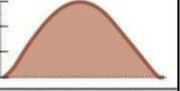
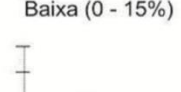













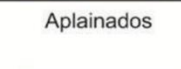
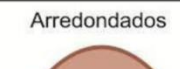
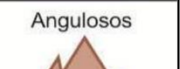
Dentro deste contexto, Reis et al. (2014) realizaram a compartimentação fisiográfica da bacia do Ribeirão do Roque visando avaliar áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos, buscando informações úteis à área de implantação e manutenção de faixas de dutos para hidrocarbonetos.

Os critérios adotados pelos autores para a delimitação das unidades de análise fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque foram traçados a partir de critérios extraídos dos quadros de análise fotogeológica proposto por Zaine (2011), Quadro 7, utilizando-se, primeiramente, técnicas de fotointerpretação, a partir da visualização de pares de fotografias aéreas com estereoscópio até recobrir toda a área de pesquisa (REIS et al., 2014).

Na referida etapa de fotointerpretação foram utilizadas fotografias aéreas em escala 1:25.000, de 1972, obtidas junto ao acervo do Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP). Os produtos fotointerpretados foram inseridos nas bases topográficas do IBGE, em escala 1:50.000 (REIS et al., 2014).

Assim, os autores elaboraram um quadro com a caracterização fisiográfica por meio dos critérios de análise e da interpretação fotogeológica relativa à permeabilidade, relação entre o escoamento superficial e a infiltração, espessura do manto de alteração, resistência à erosão, profundidade do topo rochoso, grau de escavabilidade, potencial à erosão linear e a movimentos de massa, e nível de água subterrânea. Esse conjunto de informações permitiu a elaboração de um mapa geológico-geotécnico preliminar em escala 1:50.000 (REIS et al., 2014).

Quadro 7. Critérios adotados para análise, foteointerpretação geomorfológica e geológica e delimitação das unidades fisiográficas. Fonte: Zaine (2011).

1. Análise da densidade textural		CLASSES		
Elementos de análise	Elementos de drenagem e relevo	Baixa (0 a 5/10 km ²)	Média (5 a 30/10 km ²)	Alta (> 30/ km ²)
Critérios de análise	Densidade dos elementos de drenagem			
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	PERMEABILIDADE (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Relação escoamento superficial/infiltração	Baixa	Média	Alta
	Espessura e características do manto de alteração	Grande (Espesso; > 5m)	Média	Pequena (Raso/rocha aflorante)
2. Análise das formas e características do relevo		CLASSES		
Elementos de análise	Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas			
Critérios de análise	a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)	Pequena (0 a 100 m) 	Média (100 a 300 m) 	Grande (> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa  	Côncava  	Retilínea  
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto  		Fechado  
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al. (1995)</small>		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
Registros de processos geológicos	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Continuação do quadro 7.

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tropa				
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)				
	c) Regra dos Vs				
	d) Sinuosidade* (drenagem)				
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. <small>*Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)</small>			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação X fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta		
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	
4. Análise complementar		CLASSES			
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos				
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto	
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos	
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos		
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d'água**	
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reforestamento)	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente	
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente	
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)	
* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo. ** Corpos d'água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.					

Os autores ainda realizaram trabalho de campo, que consistiu na verificação e caracterização das unidades previamente delimitadas. Assim, foi realizada a descrição dos perfis de alteração/intemperismo e elaborada a representação dos horizontes pedológicos nos perfis topográficos, incluindo a relação entre relevo, solo e substrato geológico. Em complemento, foram identificados, classificados e descritos os processos geológicos exógenos (erosão hídrica linear, solapamento de margem e escorregamentos), bem como os possíveis depósitos decorrentes de processos de corridas de massa/detritos dentro da área de pesquisa. Com estas informações, Reis et al. (2014) realizaram o ajuste dos limites das unidades.

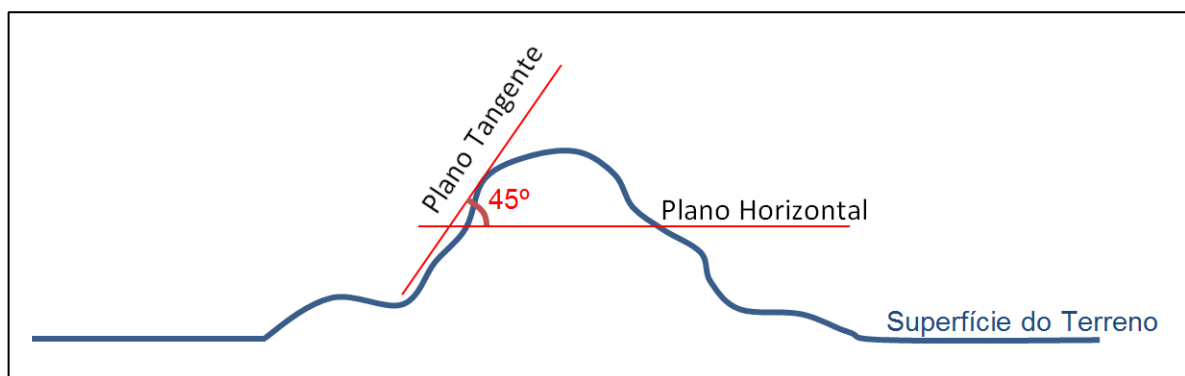
3.5.2. Mapa Pedológico

O mapa pedológico que compõe o banco de dados é o mapa do IAC, em escala 1:150.000 que foi digitalizado e vetorizado em *software Esri ArcMap 10.1*. Como não apresenta escala compatível com a proposto por este trabalho (1:50.000), é um mapa utilizado apenas para expor os tipos de solos presentes na região do município.

3.5.3. Mapa de declividade

Na concepção matemática, a declividade local associada a um ponto de uma superfície pode ser expressa pelo ângulo formado entre o plano tangente a este ponto e o plano horizontal, podendo variar de 0 a 90° (STEWART, 2006), Figura 14.

Figura 14. Representação matemática da declividade.



Ao obter uma declividade para cada ponto do terreno, é possível gerar diferentes classes de acordo com o objetivo desejado. Assim, é possível agrupar todas as regiões de uma área que apresentam declividades com valores entre A e B, onde A e B são variáveis expressas em graus. Desta maneira, um mapa de declividade pode apresentar diversas classes.

O mapa de declividade utilizado nessa pesquisa apresenta 3 classes e foi obtido a partir do processamento das curvas de nível e pontos cotados oriundos da carta topográfica do IBGE em escala 1:50.000 (1971a; 1971b), digitalizadas e cedidas por Reis et al. (2014). As cartas originalmente com Datum Córrego Alegre sofreram transformação geodésica para o Datum WGS84. Ainda no *software* Arcgis 10.1 foi realizado processamento digital com a aplicação em cadeia das ferramentas algorítmicas “*Create TIN*”, “*TIN to Raster*” e “*Slope*”. Esse processo (“*Create TIN*” e “*TIN to Raster*”) o que permitiu a geração de um arquivo *raster*, que em cada *pixel* contém um valor numérico associado relativo à sua cota altimétrica (Modelo Numérico do Terreno – MNT). O MNT representa, matematicamente, uma superfície tridimensional da superfície real do município de Santa Cruz da Conceição. O posterior comando “*Slope*” permitiu a geração de outro arquivo *raster* contendo a informação angular do terreno associado a cada *pixel* do arquivo. Posteriormente, o mesmo *software* permitiu a geração das 3 classes de declividade através de um agrupamento entre os *pixels* com os ângulos variando de 0° a 5° , $> 5^{\circ}$ a 17° , e maiores que 17° , de acordo com indicação de Levine (1996) e Zuquette et al. (1994).

3.5.4. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico foi elaborado com a utilização do relevo sombreado e o Modelo Numérico do Terreno produzidos e disponibilizados pelo sistema Topodata, a partir de reprocessamento dos modelos SRTM disponibilizados pela NASA (INPE, 2008). Com este mapa é possível visualizar as formas de relevo associados aos diferentes estratos altimétricos.

As classes hipsométricas foram divididas em intervalos de 100 metros, de modo que a primeira cota selecionada foi a de 400 metros e a última de 1.100 metros, uma vez que estes valores indicam a menor e a maior amplitude altimétrica encontrada em toda a área de estudo, respectivamente.

3.5.5. Mapa hidrográfico

O mapa hidrográfico com as curvas de nível e a drenagem foi elaborado a partir das cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000 (1971a; 1971b). As curvas de nível com equidistâncias de 20 metros, os pontos cotados e a hidrográfica foram digitalizadas e cedidas por Reis et al. (2014).

3.5.6. Mapa das áreas de recarga de aquíferos

O mapa das áreas de recarga de aquíferos foi elaborado através da digitalização do mapa geológico das Folhas Corumbataí e Leme em escala 1:50.000 (IG, 1980; 1984) e consulta bibliográfica relacionada às formações geológicas e às unidades aquíferas (IRITANI; EZAKI, 2012). Reunindo as formações geológicas referentes a cada unidade aquífera, foram obtidas as áreas de recarga dos aquíferos presentes na área.

3.5.7. Áreas de Preservação Permanente

O conceito de Áreas de Preservação Permanente (APP) presente no Código Florestal brasileiro emerge do reconhecimento da importância da manutenção da vegetação de partes de uma propriedade. Segundo a Lei Federal n° 12.651/2012, Área de Preservação Permanente (APP) é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). A respectiva norma aponta que a intervenção ou supressão de vegetação nativa em área de preservação permanente pode ocorrer somente nas hipóteses de utilidade pública; neste caso, estão incluídas obras de infraestrutura destinadas ao saneamento e gestão de resíduos. A mesma norma estabelece ainda que no Estado de São Paulo 20% da propriedade rural deve ser mantida com cobertura vegetal nativa a título de Reserva Legal.

Desta maneira, foi realizado o mapeamento das Áreas de Preservação Permanente e utilizados os dados referentes aos limites das Unidades de Conservação. Os limites de reserva legal ainda não estão disponíveis pelo CAR. Os

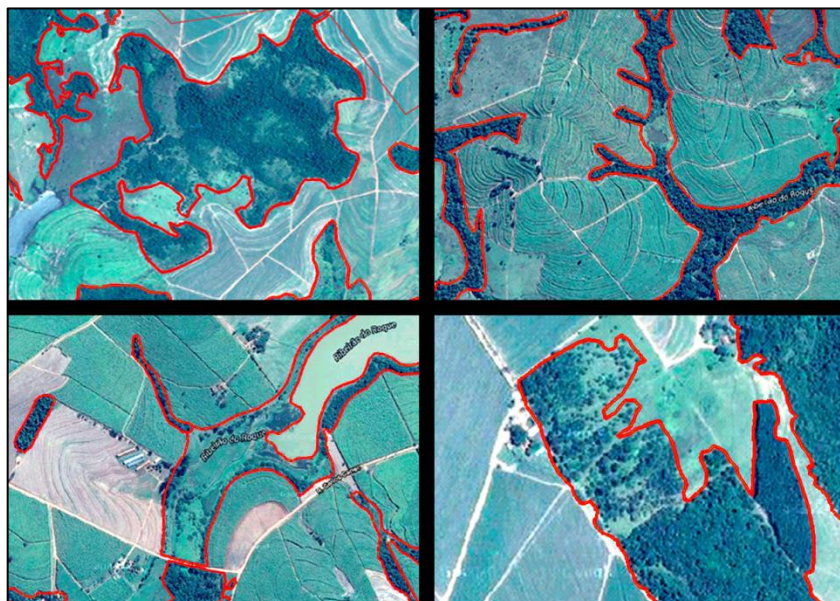
locais com estes tipos de ocorrências serão classificados como mais restritivos à implantação de Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRSs).

As áreas de APPs foram delimitadas a partir da geração de *buffers* (corredores com distâncias mínimas) a partir dos recursos hídricos mapeados e a aplicação da norma legislativa supracitada de acordo com os seguintes critérios: a) *buffer* de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura; b) *buffer* de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura; c) *buffer* de 30 (trinta) metros para as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais em zonas urbanas; e d) *buffer* de 50 metros para as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica.

3.5.8. Mapa dos remanescentes florestais do ano de 2015

Os mapas de remanescentes florestais foram elaborados através de fotointerpretação e mapeamento em *software* Arcgis 10.1 com base em imagens orbitais da base do *software* *Google Earth*. A imagem utilizada é composta por dados dos satélites *Digital Globe* e *CNES/Astrium*, datadas de 2015, com resolução espacial de 5 metros. A figura 15 exemplifica os critérios adotados na delimitação dos fragmentos de vegetação.

Figura 15. Exemplos de delimitação de fragmentos de vegetação, praticada neste trabalho.



3.5.9. Infraestrutura de Transporte e Áreas de Gerenciamento de Risco Aviário

Nesta etapa foram mapeadas as principais rodovias, estradas de terra, ferrovias e os aeródromos regionais (incluindo as áreas de gerenciamento de risco aviário e suas zonas), além de terem sido certificadas a ausência ou presença de dutovias.

Para tal, foram utilizadas a base de dados do software Esri ArcGis (ESRI, 2015), do Ministério dos Transportes (BRASIL, 2015), do Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (PEREZ, 2013) que expõe as áreas com restrições para implantação de aterros sanitários, e a malha de transporte fornecida por Reis et. al., 2014.

3.5.10. Avaliação do uso e cobertura do solo

A avaliação do uso e cobertura do solo foi realizada de forma manual através de técnicas de fotointerpretação, após o processamento digital de imagens de satélite de alta resolução (ano de 2015), utilizando-se a base de dados do *Google Earth*. Para tal, foram utilizados parâmetros de diferenciação como textura, cor, contraste, tonalidade, padrão, forma e tamanho, seguindo os preceitos de Ceron e Diniz (1966), Loch (1984) e Marchetti e Garcia (1986).

As imagens, com resolução espacial de 5 metros, foram coletadas na base de dados do *Google* e foram georreferenciadas com o auxílio de cartas topográficas em escala 1:50.000 (IBGE, 1971a; 1971b). Após este procedimento realizou-se a transformação geodésica para a atribuição do Datum WGS84, zona 23 Sul.

3.5.11. Mapa da atual área urbana e de expansão urbana de Santa Cruz da Conceição e de aglomerados humanos regionais

A partir da fotointerpretação da imagem de satélite foi possível mapear a área urbana atual de Santa Cruz da Conceição além de delimitar as áreas de aglomerados humanos regionais. A área de expansão urbana foi delimitada a partir dos mapas presentes no Plano Diretor Municipal.

3.5.12. Mapa com áreas de interesse expressas no Plano Diretor Municipal

As áreas de interesse ambiental, turístico, de paisagem edificada e áreas destinadas a indústrias foram extraídas dos mapas do Plano Diretor de 2007 e vetorizadas após o georreferenciamento com a base de dados do presente trabalho.

3.5.13. Mapa Regional de Densidade Demográfica

O mapa regional com a densidade demográfica foi elaborado em ambiente Arcgis 10.1 por manipulação das informações demográficas do Censo de 2010 (IBGE, 2014) e as informações dos limites municipais disponibilizados pelo IBGE (2010), com adição dos círculos com raios de 100, 200 e 300 km, com centro na área urbana de Santa Cruz da Conceição.

3.5.14. Mapa da qualidade da gestão dos resíduos sólidos do Estado de São Paulo

Esta informação foi obtida através do documento “Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo” (PEREZ, 2013), que traz um panorama local e regional da situação das práticas relacionadas ao manejo dos resíduos no Estado de São Paulo.

3.6. Avaliação da potencialidade de aptidão das áreas

Nesta etapa foi realizada uma análise na qual foi determinada a potencialidade de aptidão das diferentes áreas representadas pelas classes dos planos de informação. Os níveis de potencialidade foram descritos variando de baixo a alto. Foram levados em consideração os potenciais de impactos, vulnerabilidade e exigências de cada empreendimento avaliado (aterros sanitários em valas, aterros sanitários em camadas e incineradores). Esta etapa é fruto da análise e reflexão do item 2 (fundamentação teórica) e os resultados desta análise e reflexão estão expostos no item 5.1.

Especificamente em relação à compartimentação fisiográfica, que se infere por meio de fotointerpretação, propriedades e atributos geotécnicos (REIS et al., 2014; ZAINÉ, 2011), a permeabilidade, resistência à erosão e potencialidade a movimentos gravitacionais foram selecionados como parâmetros de referência para avaliação de potencialidade de aptidão. A permeabilidade fornece a informação sobre a vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas, parâmetro considerado crítico por diversos trabalhos em relação à implantação de aterros sanitários (CUNHA; CONSONI, 1995; GIUSTI, 2009; GOUVEIA; PRADO, 2010; ZUQUETTE et al., 1997; ABNT, 2010; IPT, 1995). Por sua vez, a resistência à erosão é um dos parâmetros levados em consideração para a implantação destes empreendimentos (IG, 1999; BROLLO, 2001; LINO, 2007), uma vez que a ocorrência deste processo pode resultar no afloramento do lençol freático e, conseqüentemente, em sua contaminação. Ademais, Brollo (2001) salienta que os processos erosivos favorecem o transporte de resíduos através do escoamento da água superficial e do chorume no solo. Os movimentos gravitacionais podem ocasionar instabilidade estrutural e afetar a segurança do aterro sanitário (BROLLO, 2001; IG, 1999; LINO, 2007; ERSOY; BULUT, 2008; ABNT, 2010; ZUQUETTE et al., 1997; CUNHA; CONSONI, 1995).

3.7. Análise Multicriterial

3.7.1. Ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica – *Esri ArcMap 10.1*)

Após a elaboração e organização da base cartográfica em ambiente SIG, com base nos levantamentos dos produtos cartográficos e de sensoriamento remoto, foi realizada a análise multicriterial com auxílio do software *Esri ArcMap*. Para a análise destinada à implantação de aterros em valas e em camadas, foram integrados os mapas de compartimentação fisiográfica, mapa de declividade, de áreas preservação permanente e de proteção extra de recursos hídricos indicados pela NBR 15849 da ABNT (2010), de fragmentos de vegetação, mapa de gerenciamento de risco aviário de aeródromos, mapa das áreas urbanas, de expansão urbana e rural, e mapa das áreas de interesses municipais presentes no Plano Diretor, incluindo as áreas destinadas às instalações industriais, gerados nas etapas

anteriores. Houve diferenciação do mapa de declividade uma vez que os aterros em valas e camadas apresentam diferentes demandas quanto a este critério, segundo Levine (1996) e Zuquette et al. (1994). Os planos de informação que a princípio foram construídos em formato vetorial, no qual apresentam diferentes classes, foram transformados para arquivos em formato *raster* com células de 5 x 5 metros através da ferramenta *Feature to Raster*. Em sequência foi feita a valoração das células unitárias com a ferramenta *Reclassify*. Cada célula *raster*, pertencente a cada classe da compartimentação fisiográfica, recebeu um valor de acordo com o nível de potencialidade de aptidão, variando em 2, 4, 6 e 10, conforme cálculo exibido no Quadro 8. Esta etapa é derivada do item 3.6 (Avaliação da potencialidade de aptidão das áreas) e da análise do item 2 (Fundamentação teórica). Áreas com aptidão muita alta são valoradas entre 9 e 10. Áreas com alta aptidão são valoradas entre 7 e 8. Áreas com média aptidão são valoradas entre 4 e 6. Áreas com baixa aptidão são valoradas entre 2 e 3. Áreas com muito baixa aptidão ficam entre 0 e 1. Ainda existem os valores intermediários: muito baixa à baixa potencialidade (entre 1 e 2); baixa a média potencialidade (entre 3 e 4), média a alta potencialidade (entre 6 e 7); e alta a muito alta (entre 8 e 9), todas valores derivados da realização do subcapítulo 3.6.

Quadro 8. Valoração numérica para análise multicriterial das unidades de compartimentação fisiográfica.

Classes	Critérios de Avaliação			Potencialidade da Unidade (Menor Valor de Ocorrência entre os 3 critérios)
	CONTAMINAÇÃO ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	RISCO DE EROSÃO	MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS	
	Potencialidade	Potencialidade	Potencialidade	
Unidade I	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade III	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VI	Média 6	Alta 8	Baixa à Média 4	4
Unidade VII	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VIII	Baixa a Média 4	Média a Alta 7	Alta 8	4
Unidade IX	Alta 8	Média 6	Alta 8	6
Unidade X	Alta 8	Média 6	Alta 8	6

As áreas de gerenciamento de risco aviário foram classificadas de acordo com o quadro 9. Considerou que áreas representadas por núcleos de AGRAs de aeródromos civis teriam impacto final em -1. Logo uma área com nota inicial de 6 intersectada por um núcleo de AGRA de aeródromo civil passa a ter nota 5, e assim sucessivamente.

Quadro 9. Valoração numérica para as áreas de gerenciamento de risco aviário.

Plano de Informação	Classe	Valoração Numérica para Análise Multicritério
Mapa com Áreas de Gerenciamento de risco aviário	Núcleo das AGRA Aeródromo Civil	Valor = -1
	Demais Áreas	Neutro = 0

As demais classes dos outros planos de informação foram classificadas em “NoData”, quando representado por áreas consideradas inaptas, e como neutro, obtendo valores iguais a zero (Quadro 10). O termo “NoData” é o utilizado pelo software ArcGis 10.1 para representar tal atributo.

Quadro 10. Valores dos planos de informação dos mapas com fragmentos de vegetação, com a declividade para aterro em camadas e em valas, de APP, Área Urbana e de Interesse Ambiental, Turístico, da Zona Industrial e da Paisagem Edificada.

Plano de Informação	Classe	Valoração Numérica na Análise Multicriterial
Mapa com Fragmentos de Vegetação	Áreas com presença de fragmentos (consideradas inaptas uma vez que a quantidade de áreas de fragmentos mapeadas, excluindo-se as APPs, foram inferiores aos valores mínimos destinados à reservas legais)	Valor = Nodata
	Demais Áreas	Neutro = 0
Mapa de Declividade Aterro em Camadas	0 – 5°	“NoData”
	>5° – 17°	Neutro = 0
	>17°	“NoData”
Mapa de Declividade Aterro em Valas	0 – 5°	Neutro = 0
	>5° – 17°	“NoData”
	>17°	“NoData”
Mapa de APP e NBR 15849 – 200 metros de proteção de coleções hídricas	APP	“NoData”
	“Buffer” de 200m de coleções hídricas	“NoData”
	Demais áreas	Neutro = 0
Mapa de Área Urbana, Expansão Urbana e Rural	Área Rural	Neutro = 0
	Área Urbana	“NoData”
	Área de Expansão Urbana	“NoData”
Mapa de Áreas do Planos Diretos (Interesse Ambiental, Turístico, Zona Industrial e de Paisagem Edificada)	Área de Interesse Ambiental	“NoData”
	Área de Interesse Turístico	“NoData”
	Área de Interesse Industrial	“NoData”
	Área de Paisagem Edificada	“NoData”

A partir dessas informações, realizou-se uma álgebra de mapas através da soma pela ferramenta *Raster calculator* do *ArcMap*: “Compartimentação Fisiográfica” + “Fragmentos Florestais” + “Áreas de Gerenciamento de Risco Aviário” + “Mapa de Declividade” + “Mapa de APP e Norma NBR 15849 (200 metros de proteção para coleções hídricas)” + “Mapa de Área Urbana, Expansão Urbana e Rural” + “Mapa de Áreas do Planos Diretos (Interesse Ambiental, Turístico, Zona Industrial e de Paisagem Edificada)” = Mapa Geoambiental.

Desta forma, os valores finais do mapa geoambiental são representados pelos valores iniciais da compartimentação fisiográfica decrescidos em 1 ponto quando ocorrem áreas de fragmentos de vegetação e reduzidos de 1 ponto quando ocorrem núcleos de áreas de gerenciamento de risco aviário. As áreas inaptas prevalecem sobre os demais valores, de forma que uma área 10 somada a uma área inapta (“NoData”) resulta em área inapta.

Para a análise multicriterial voltada à identificação de melhores áreas para implantação do incinerador e demais possíveis módulos da central de tratamento de resíduos sólidos, foram utilizados os critérios expostos no quadro 11.

Quadro 11. Valoração das classes dos planos de informação para análise multicriterial voltada à escolha de locais para implantação de incineradores e demais módulos da CTRS.

Plano de Informação	Classe	Valoração Numérica para Análise Multicritério
Mapa com áreas urbana, de expansão urbana, com entorno de 600 metros de largura e demais áreas rurais	Área Urbana Atual	“NoData”
	Área de Expansão Urbana	“NoData”
	Entorno de 600 metros de Largura	Nota = 5
	Demais áreas rurais	Nota = 10
Mapa do plano diretor incluindo áreas destinadas a indústrias, de interesse ambiental, turístico e de paisagem edificada	Áreas de Interesse Ambiental, Turismo e Paisagem Edificada	“NoData”
	Área destinadas a Indústrias	Nota = 10
	Demais Áreas	Nota = 5
Mapa de APPs	Presença	“NoData”
	Ausência	Neutro = 0
Mapa de Fragmentos de Vegetação	Presença (Inapta)	Valor = NoData
	Ausência	Neutro = 0

De forma semelhante, realizou-se a álgebra de mapas pela soma, através da ferramenta *Raster calculator* do *ArcMap*. Assim, foi elaborada a seguinte equação: (“Mapa com áreas urbana, de expansão urbana, com entorno de 600 metros de largura e demais áreas rurais”)*0,5 + (Mapa do Plano Diretor Municipal, incluindo áreas destinadas a indústrias, de interesse ambiental, turístico e de paisagem edificada)*0,5 + “Mapa de APPs” + “Mapa de Fragmentos de Vegetação” = Mapa Final.

3.7.2. Avaliação dos resultados e reestruturação de critérios

Nesta etapa foram avaliados os resultados obtidos na análise multicriterial, produtos do processo de álgebra de mapas e respectivos valores de classes e plano de informação. Desta maneira, foi possível ajustar os valores finais para cada classe e adequar as equações finais, de modo a evitar dados incoerentes e equívocos. Quando os mapas de potencialidade exibiam boa discriminação e coerência entre os fatores avaliados jogou-se que o método havia sido adequado.

3.8. Geração de Mapas de Potencialidade para Aterros e Incineradores

Foram gerados três mapas de potencialidade a partir da álgebra de mapa realizada nas análises multicritério. Foram gerados 3 arquivos raster que deram origem a um mapa destinado ao estudo de alternativa locacional para aterros em camadas, um para aterros em valas e outro mapa para a identificação de locais ideais para a implantação do incinerador e consequente identificação de local para a implantação da central de tratamento de resíduos sólidos.

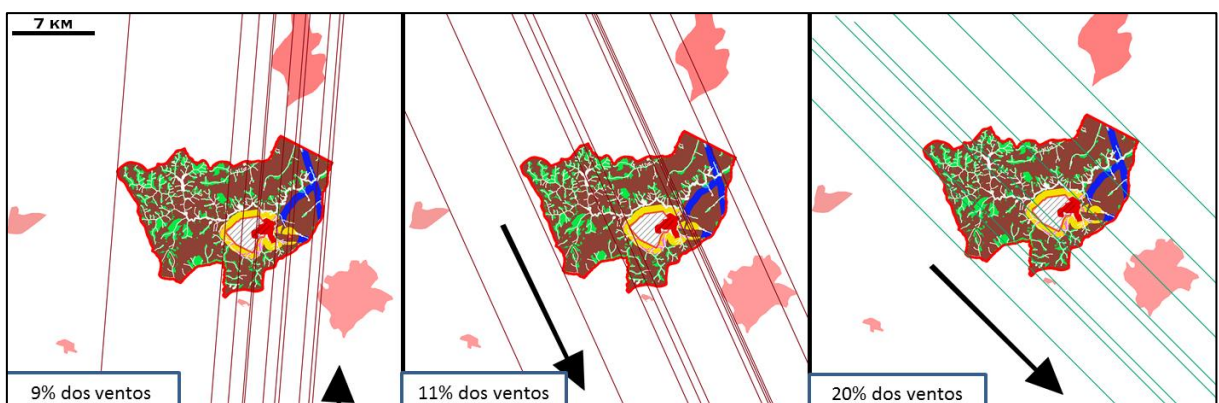
3.9. Avaliação do Uso e Ocupação dos Solos, Indicação de Locais Preferenciais para Implantação de Aterros e Avaliação das Direções Principais dos Ventos.

A partir da indicação de áreas potenciais para a implantação de aterros e incineradores obtida na etapa anterior, foi realizada uma análise visual em imagem de satélite referente ao ano de 2015 com a finalidade de avaliar o uso e ocupação

dos solos preponderantes nas áreas de maior potencialidade de aptidão para implantação dos referidos empreendimentos. Ademais, para a escolha das áreas preferenciais para implantação de aterros, optou-se por áreas com distanciamento em mais de 500 metros de núcleos populacionais, como indicado pela norma NBR 15849 (ABNT, 2010). Assim, foram indicadas as áreas preferenciais para implantação de aterros, com níveis de aptidão médios, em áreas ocupadas por plantações de cana de açúcar. As áreas próximas a estas preferenciais para implantação de aterros foram avaliadas para a implantação dos demais módulos da CTRS. Esta avaliação foi realizada a partir da análise do mapa de potencialidade de aptidão para incineradores, do uso e ocupação dos solos e das direções principais dos ventos.

Para isto, foi elaborado o diagrama de rosetas com as frequências e direções dos ventos com o auxílio do *software RockWorks14*. O programa cria um diagrama no qual é possível identificar as direções dos ventos e a sua respectiva frequência de ocorrência em intervalo de tempo. A avaliação dos ventos e da possível dispersão de poluentes por incineradores foi feita visando minimizar ou tornar público o eventual carreamento de poluentes atmosféricos frontais aos núcleos populacionais da região, levando-se em conta o histórico eólico do período 2008 – 2016 e a posição dos núcleos populacionais próximos, inseridos no raio de 25 km a partir do centro de Santa Cruz da Conceição. (Figura 16).

Figura 16. Corredores dos ventos principais que sopram na região de Santa Cruz da Conceição (área central da figura) e núcleos populacionais próximos, que foram levados em conta na escolha de áreas para implantação do incinerador e demais módulos da central de tratamento de resíduos sólidos.



3.10. Mapas Geoambientais Finais e Indicação de Locais Preferenciais para Implantação de aterros e CTRs

A partir das etapas anteriores foi possível gerar os 5 mapas finais da presente pesquisa: potencialidade de aptidão para aterros sanitários em camadas, potencialidade de aptidão para aterros sanitários em valas, aptidão geoambiental para implantação de incineradores e outro mapa que contemplou as direções principais de ventos, onde os maiores valores numa escala de 0 a 10 representam maiores potencialidades de aptidão. O produto final resultou em um mapa com a sugestão preferencial para a implantação da possível Central de Tratamento de Resíduos Sólidos, com duas opções de locais para aterros em camadas e um local contíguo à CTRs para aterros em valas. As figuras, a seguir, exibem um modelo esquemático com os passos para a elaboração dos respectivos mapas. O Plano para a localização de aterros sanitários é uma adaptação da metodologia do Instituto Geológico (IG, 1999), Figura 17. Os parâmetros levados em conta para a localização de incineradores e consequente locação do posicionamento da CTRs, é uma proposta que leva em conta a legislação nacional, a legislação municipal representada pelo plano diretor e a parte da proposta dos autores italianos Ferretti e Pomarico (2012). O método adotado e elaborado nesta pesquisa é exibido na Figura 18.

Figura 17. Metodologia para seleção de áreas destinadas à implantação de aterros sanitários em valas e em camadas, proposta neste trabalho.

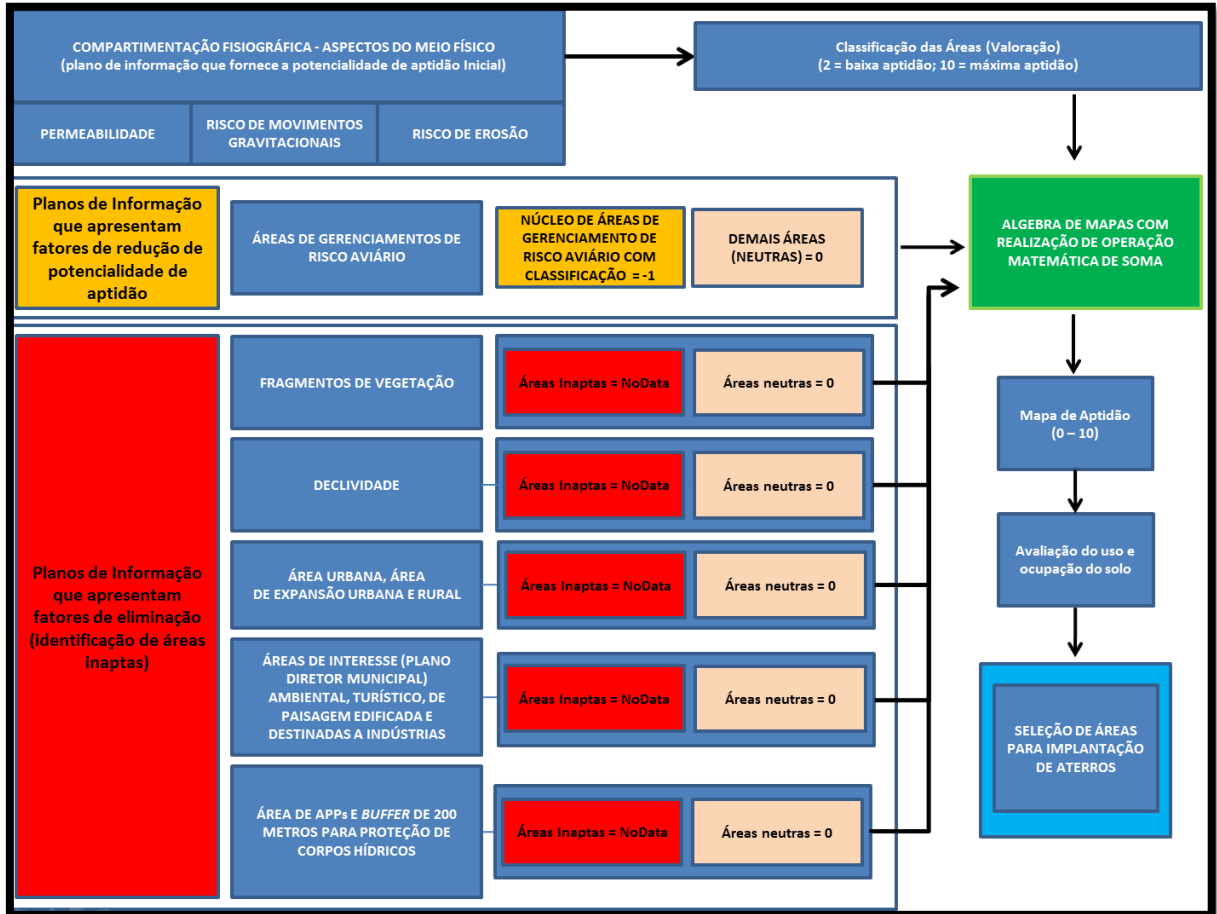
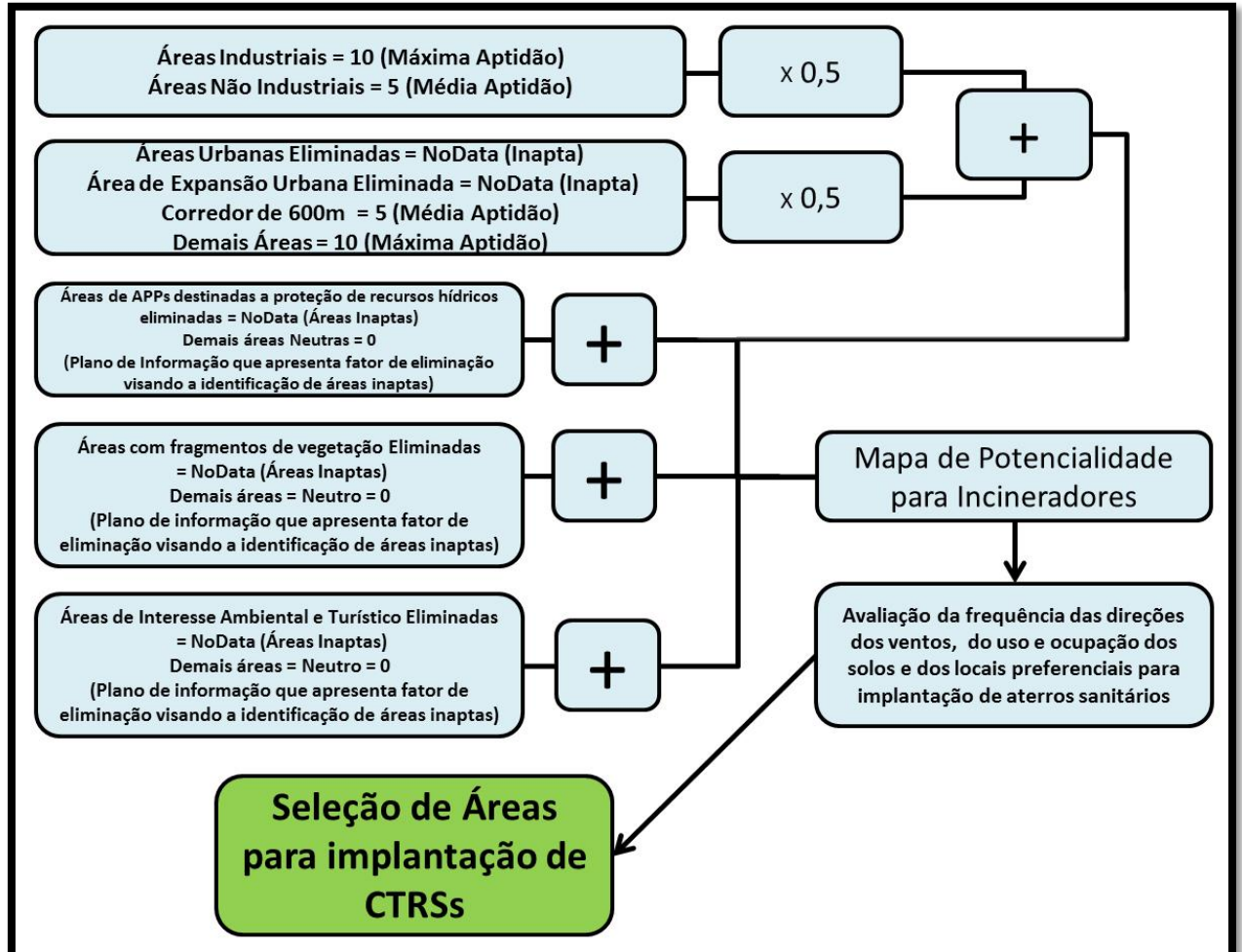


Figura 18. Metodologia para seleção de áreas destinadas a implantação de incineradores e demais módulos da CTRs proposta neste trabalho.

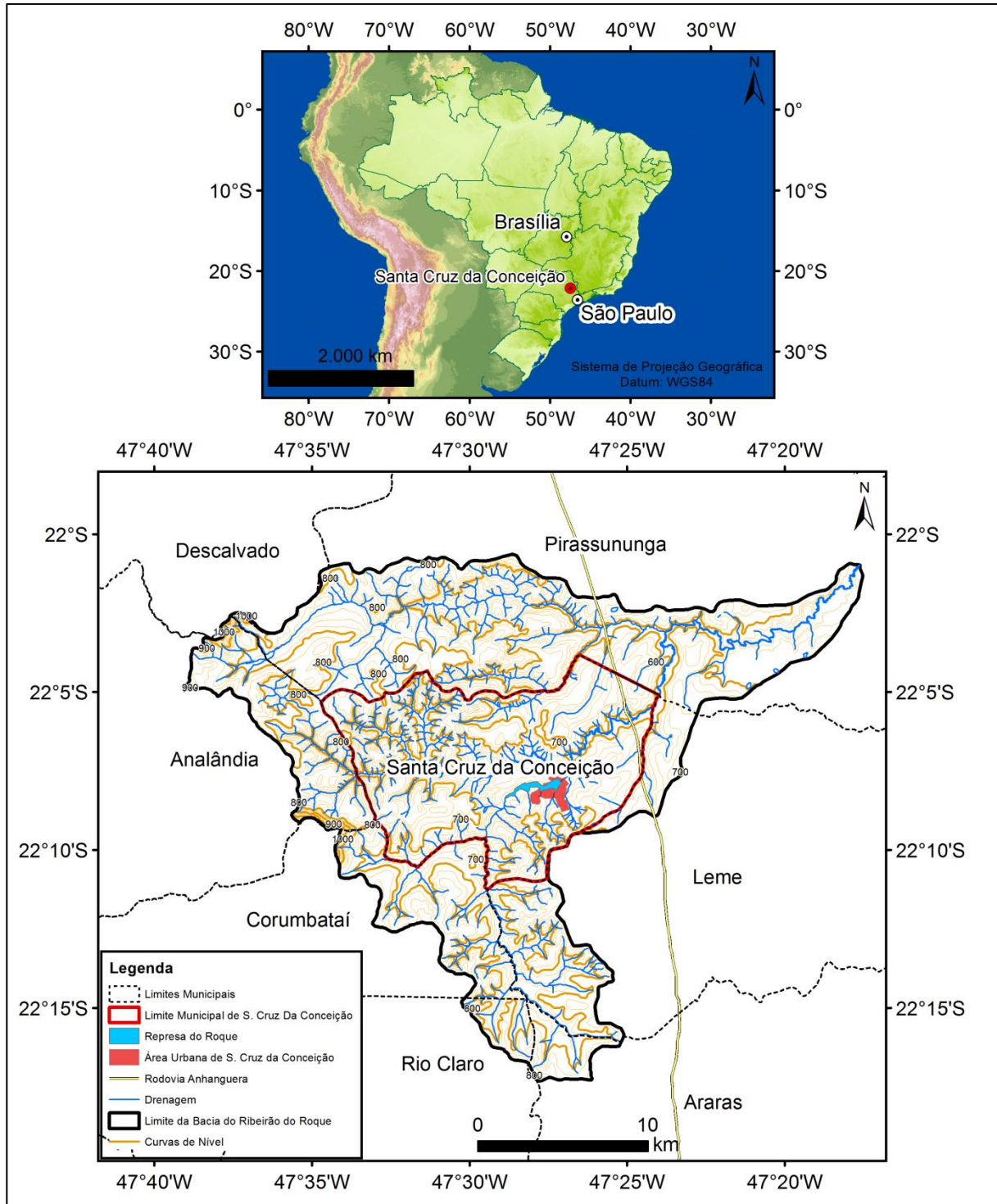


4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização

Localizado no sudeste do Brasil (Estado de São Paulo), o município de Santa Cruz da Conceição possui uma área de aproximadamente 150 km² e está em altitude de 635 metros, entre as coordenadas geográficas 47°35'48" e 49°20'0.3" Oeste e 22°11'4" e 22°1'31.9" Sul (*Datum WGS84*). Está inserido na mesorregião de Piracicaba, fazendo divisa com os municípios de Pirassununga, Leme, Corumbataí e Analândia. O município ocupa a área central da bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, afluente do Rio Mogi-Guaçu e é contemplado pela Rodovia Anhanguera no seu extremo leste (IBGE, 2010), Figura 19.

Figura 19. Localização da área de estudo.

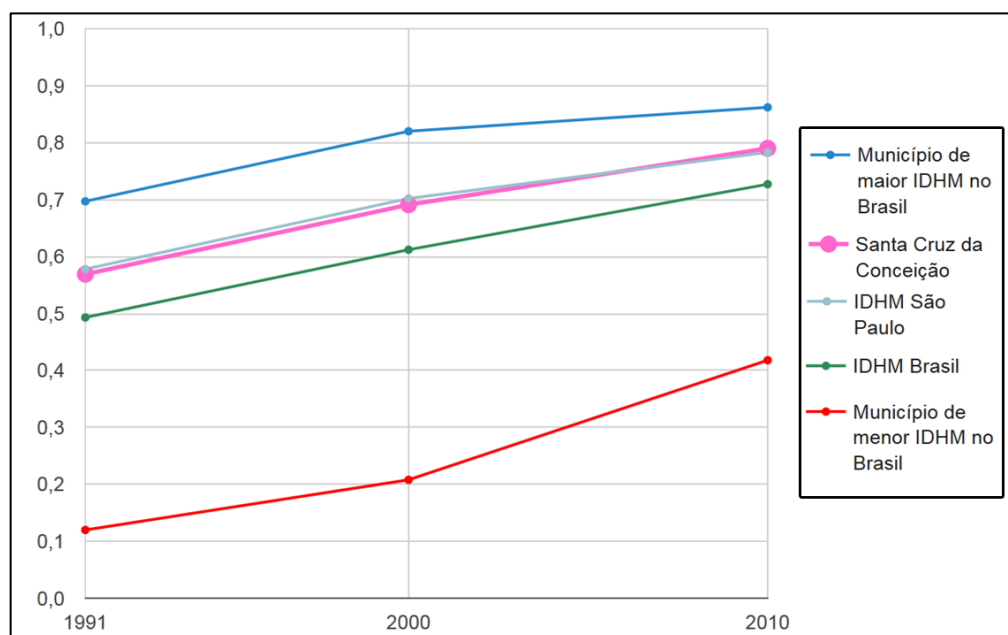


4.1.2. Socioeconomia

Em 2010, de um total de 4.002 habitantes, 68% dos munícipes de Santa Cruz da Conceição residiam em área urbana e 32% em área rural. Entre 1991 e 2010, o município apresentou progresso em relação ao Índice Desenvolvimento Humano (IDHM), passando de 0,569 para 0,790, o que indica um alto IDHM (Gráfico 2). O IDHM é um índice que agrega 3 das mais importantes dimensões do desenvolvimento humano: a oportunidade de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso ao conhecimento e ter um padrão de vida que garanta as necessidades básicas, representadas pela saúde, educação e renda. Desta forma o índice permite visualizar a qualidade média da vida da população (ATLAS BRASIL, 2013).

Em relação à economia, em 2012 o setor primário de Santa Cruz da Conceição gerou 22 milhões de reais, as indústrias geraram 12 milhões e o setor de serviços 44 milhões de reais. O PIB total para aquele ano foi de R\$ 86.000.000,00 e o PIB per capita foi de R\$ 21.111,00. A indústria empregou 50,87% dos trabalhadores com carteira assinada, o setor de serviços empregava 32,68% e o setor primário 16,45% (FIESP, 2015).

Gráfico 2. Evolução Média do IDHM de Santa Cruz da Conceição perante outros IDHM entre 1991 e 2010. Fonte: Atlas Brasil (2013).

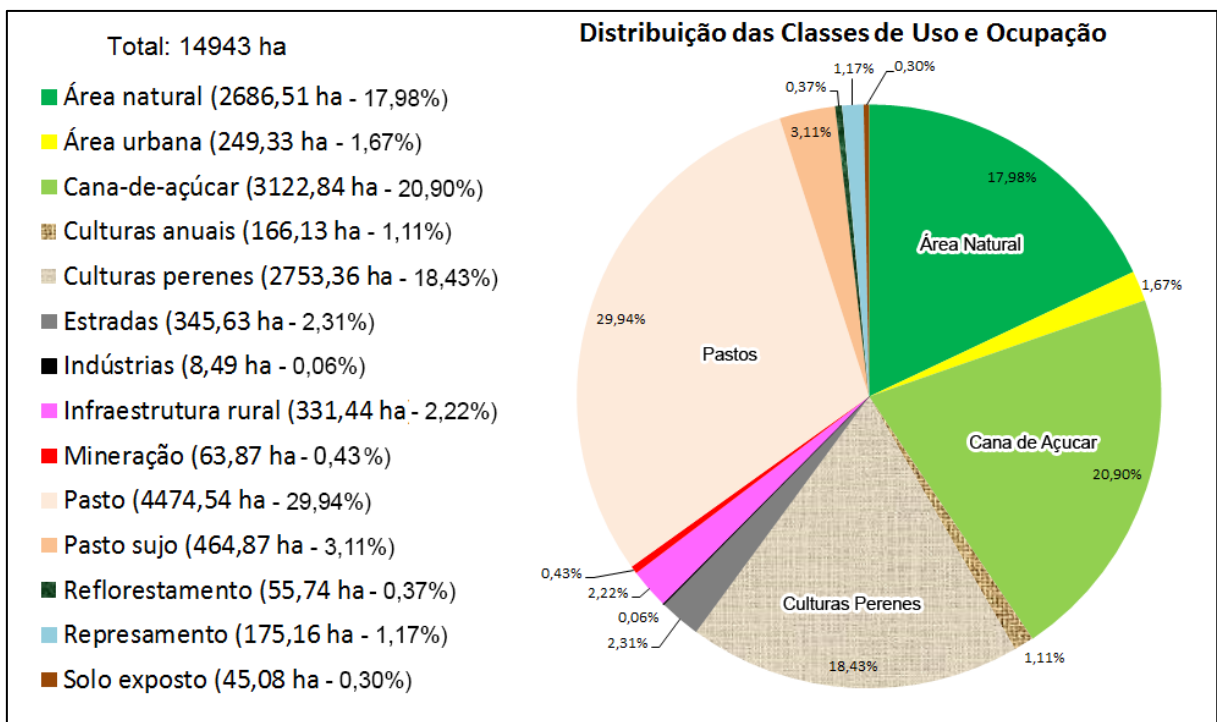


4.1.3. Uso e cobertura da terra de trabalhos anteriores.

Desde sua ocupação, a paisagem no município de Santa Cruz da Conceição sofreu grandes alterações com o uso da terra, especialmente em relação à cobertura original (ARAÚJO, 2008). Em 1995 menos de 20% da superfície do município tinha a cobertura vegetal original, que se apresentava sob a forma de fragmentos. Estes, por sua vez, estavam isolados uns dos outros por áreas com agricultura ou pastagens, situação semelhante à constatada em outras regiões (PIRES, 1995). Tais fragmentos foram caracterizados como vestígios do antigo ecótono entre Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica) e Cerrado, que ocupava a região no passado (ARAÚJO, 2008).

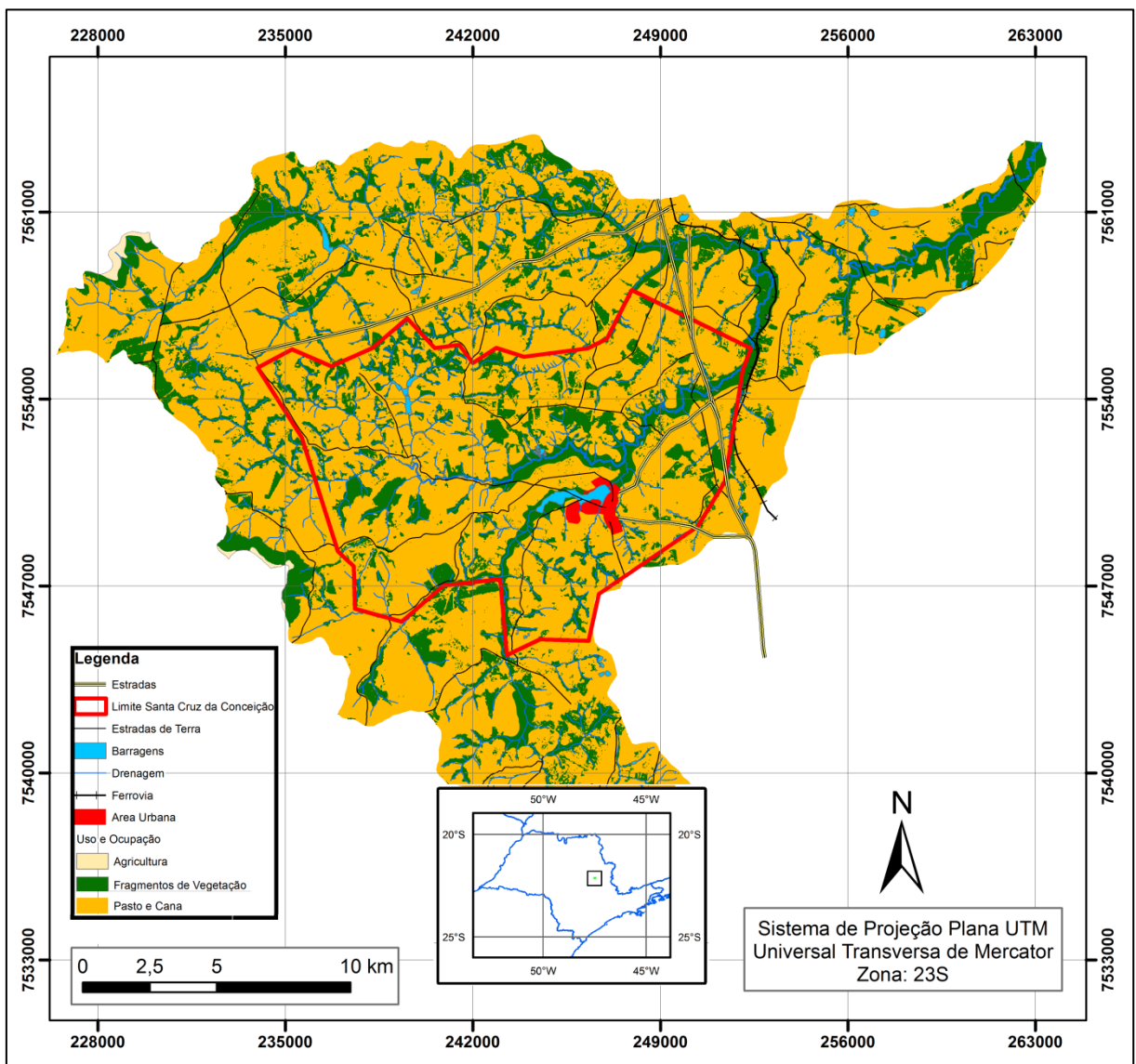
Fushita (2006) fez uma análise do uso e ocupação da terra no município, no qual identificou, através de técnicas de fotointerpretação (fotos aéreas do ano 2000), 14 diferentes classes. O gráfico 3 exibe a diversidade de ocupação do município segundo aquele autor.

Gráfico 3. Distribuição das classes de uso e ocupação da terra no município de Santa Cruz da Conceição - SP no ano 2000. Fonte: Fushita (2006).



Reis et al. (2014) elaboraram o mapeamento de uso e ocupação da Bacia do Ribeirão do Roque, em escala 1:50.000, incluindo o município de Santa Cruz da Conceição, com base em imagens de satélite *Resourcesat* com passagem em setembro de 2012. Os autores identificaram 10 classes de uso (Figura 20).

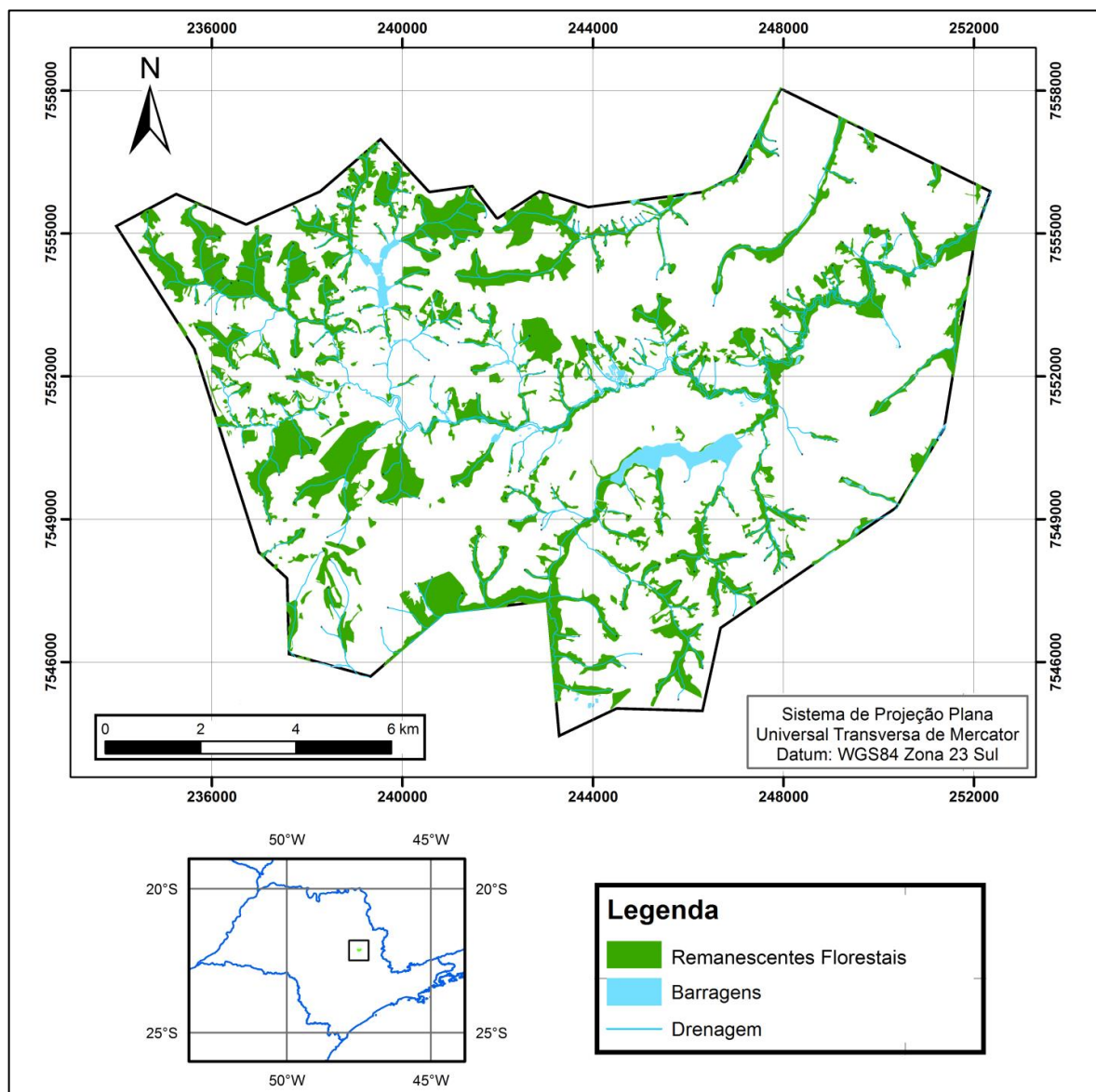
Figura 20. Mapa de uso e ocupação da Bacia do Ribeirão do Roque. Fonte: Reis et. al. (2014).



4.1.4. Remanescentes Florestais e Áreas de Preservação Permanente

No ano de 2015 existiam aproximadamente 33 km² de remanescentes florestais no município, que recobria aproximadamente 22% do seu território. Esta informação é derivada do mapeamento realizado no presente trabalho (Figura 21).

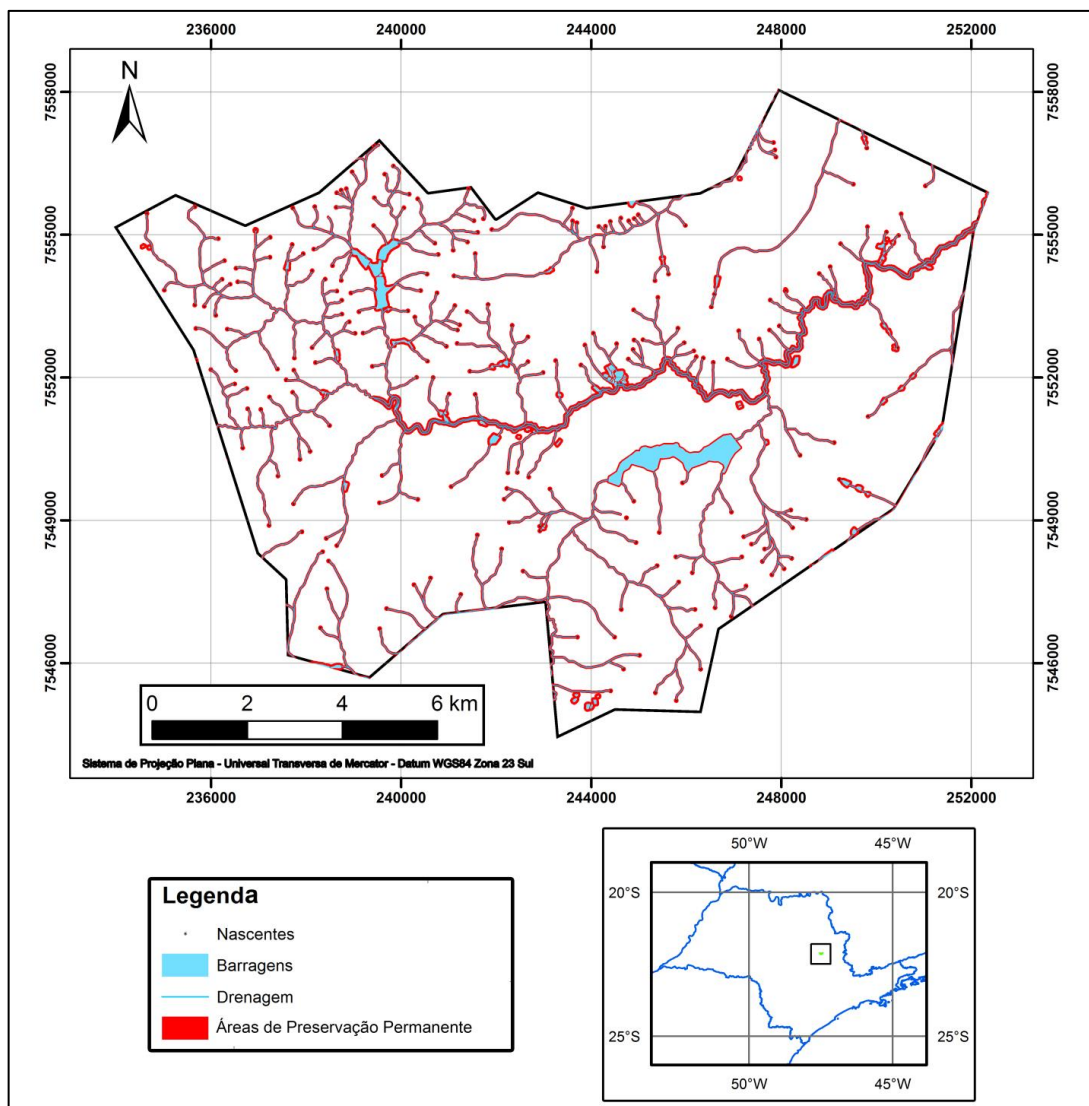
Figura 21. Mapa dos remanescentes florestais de Santa Cruz da Conceição. Elaborado neste trabalho com base em imagens de satélite do ano de 2015 (GOOGLE EARTH, 2015).



Em sequência é exibido o mapa com a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), destinada à proteção dos recursos hídricos superficiais

presentes no município, oriundas da aplicação das normas do código florestal (Lei Federal n. 12.651) (BRASIL, 2012). Destaca-se que aproximadamente 17 km² da superfície do município foram enquadradas nesta categoria, totalizando aproximadamente 11,5% do seu território, dado explicitado a partir do mapeamento realizado no presente trabalho.

Figura 22. Áreas de Preservação Permanente voltadas à proteção dos recursos hídricos. Mapeamento elaborado a partir do enquadramento da norma brasileira (BRASIL, 2012), base hidrográfica do IBGE (IBGE, 1971a; 1971b) e imagens de satélite do ano de 2015 (GOOGLE EARTH, 2015).



Destaca-se que os valores percentuais de áreas de fragmentos de vegetação (22%) e os de APPs (11,5%) demonstram que a situação das reservas legais está

inapropriada. Este é o motivo pelo qual decidiu-se aqui excluir e tornar inaptas todas as áreas contendo fragmentos de vegetação. Somente áreas já desmatadas foram levadas em consideração para a escolha dos melhores locais para implantação de aterros e CTRS.

4.1.5. Infraestrutura de Transporte e Gerenciamento de Risco Aviário

Como principais rodovias de acesso à região, destacam-se a rodovia Anhanguera (SP-330) e a SP-225, que faz conexão com a Washington Luiz (SP-310), uma das principais rodovias do Estado de São Paulo (Figura 23). Além da malha de estradas de terra, o município é tangenciado por linha férrea no seu extremo leste.

Com relação ao transporte aéreo, existem dois aeródromos no município de Pirassununga, adjacente ao município de Santa Cruz da Conceição (ESRI, 2015). Em 2011 o Ministério da Defesa elaborou o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário (PBGRA). Este Plano estabelece a delimitação da área de gerenciamento do risco aviário (AGRA) para aeródromos. A AGRA corresponde a uma área circular com centro no ponto médio da pista do aeródromo e raio de 20 km. Também possui um setor interno, denominado de núcleo, com raio de 9 km, e um setor externo, compreendido entre o núcleo e o seu limite (BRASIL, 2011). A figura 24 ilustra o posicionamento dos aeródromos em Pirassununga e suas respectivas AGRA's.

Figura 23. Malha de transporte terrestre no município de Santa Cruz da Conceição. Composição baseada no mapeamento de Reis et al. (2014) e ajustado com a base de dados da Esri (2015).

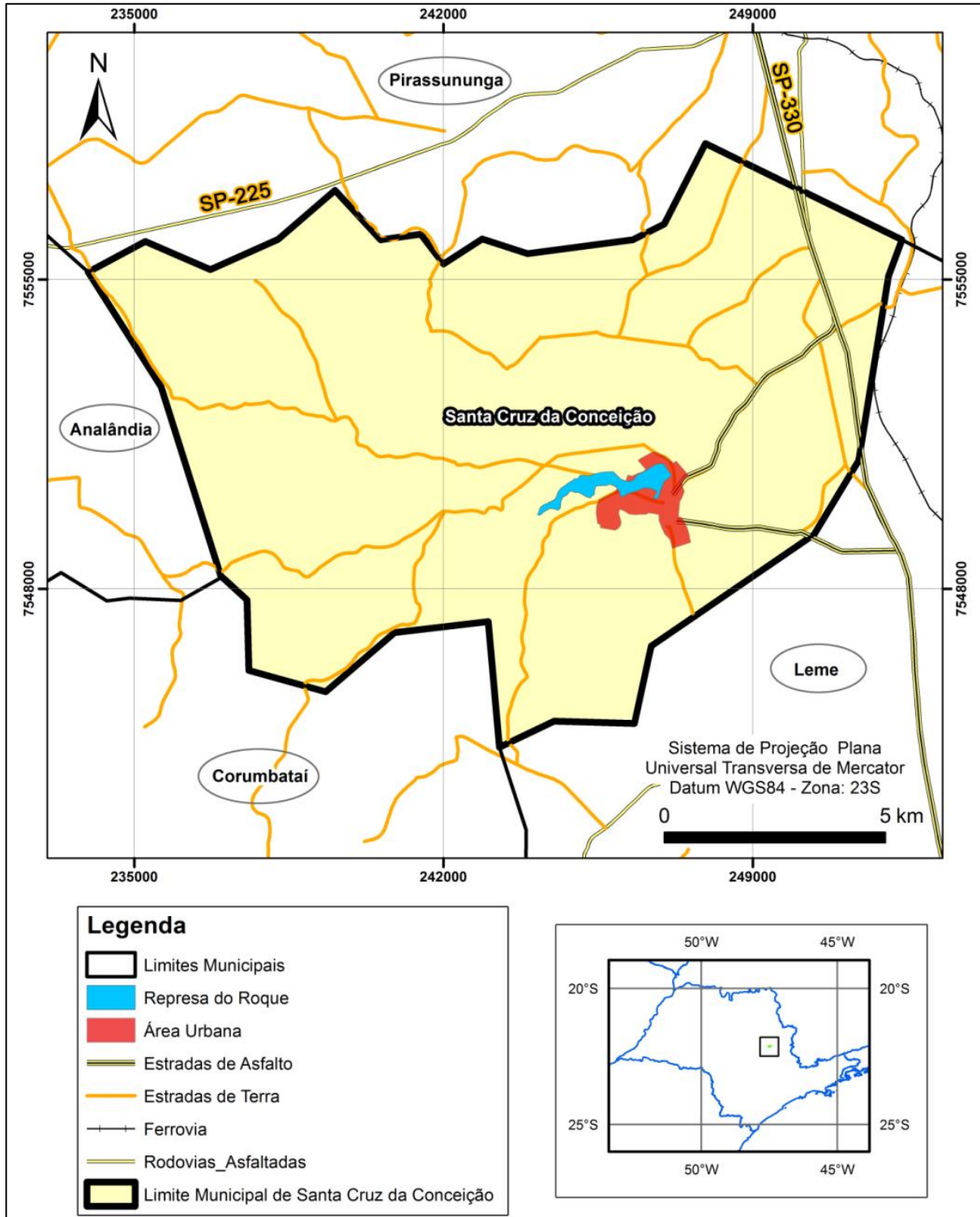
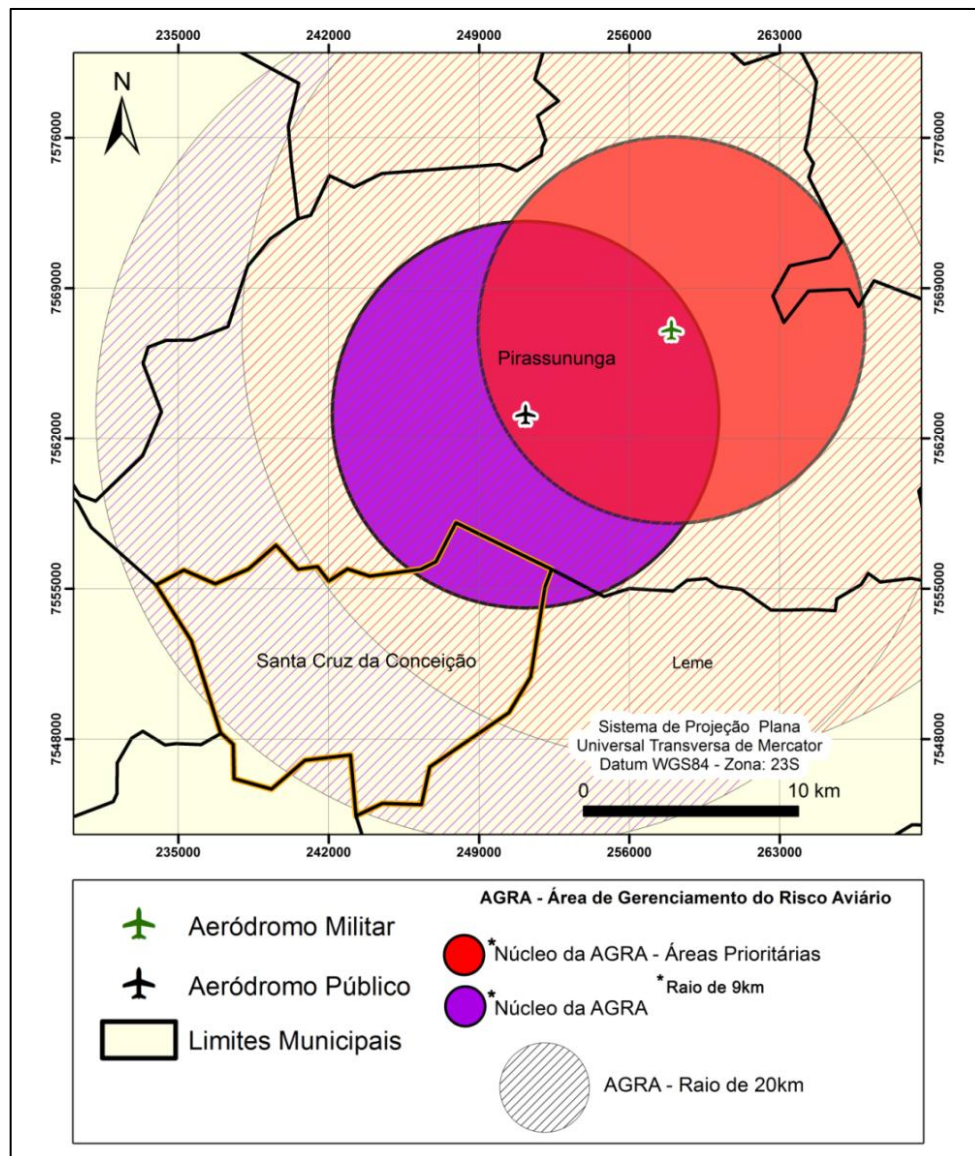


Figura 24. Aeródromos mais próximos de Santa Cruz da Conceição e suas respectivas áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRA). Composição com base em dados de Esri (2015), Brasil (2011), Brasil (2015) e Perez (2013).



O objetivo é que a AGRA proteja o espaço aéreo da circulação de aves, permitindo que as aeronaves efetuem com segurança a decolagem, a subida inicial, a aproximação final e o pouso. De acordo com o Ministério da Defesa, não é recomendada a implantação ou funcionamento de atividades com potencial de atração de aves no núcleo da AGRA de aeródromos públicos brasileiros. Para empreendimentos localizados entre o limite do núcleo e o limite externo (entre o raio 9 km e de 20 km), o responsável pelo mesmo deve se comprometer, formalmente, a

empregar técnicas mitigadoras, de forma que a atividade não se configure em um foco de atração destes animais (BRASIL, 2011).

4.1.6. Plano Diretor

Em 27 de Novembro de 2007 foi sancionada a lei municipal que criou o Plano Diretor estratégico do município de Santa Cruz da Conceição (SP). A lei estabeleceu um instrumento global de política municipal de desenvolvimento territorial, sendo necessário que suas regras e diretrizes sejam observadas e respeitadas pelos agentes públicos e privados que atuam na construção e gestão do município (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

Anexado ao texto da lei são exibidos diversos mapas que auxiliam o processo de ordenamento territorial. Assim, foram delimitadas as macrozonas rural e urbana (Figura 25), a área de expansão urbana (Figura 26), as zonas especiais de interesse ambiental, de paisagem edificada e turístico (Figura 27) e as zonas de interesse industrial (Figura 28).

A macrozona urbana constitui a parte do território municipal onde a urbanização está consolidada e oferece infraestrutura urbana e disponibilidade de serviços públicos. Esta será ampliada ao longo do tempo pela incorporação das áreas contidas na área destinada à expansão urbana (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

A zona especial de interesse ambiental apresenta restrições de uso com o objetivo de preservar a paisagem e o meio ambiente, permitindo a ocupação qualificada e a oferta de espaços públicos adequados ao lazer da população (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

Na zona especial de interesse turístico, destaca-se a obrigatoriedade de preservação de 30% dos espaços permeáveis, permitindo apenas uma taxa de ocupação de 50% do solo. A zona especial de paisagem edificada representa o espaço destinado a possíveis edificações verticais, região que recebe estímulos para que se intensifiquem atividades de comércio, serviços, lazer e usos institucionais (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

A zona de interesse industrial é composta e delimitada pelas áreas lindeiras das rodovias SP-193, SP-198 e SP-330, com distanciamento de 300 metros de cada

lado dos pavimentos, formando corredores de interesse (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

Figura 25. Macrozonas Urbana e Rural de Santa Cruz da Conceição. Fonte: Santa Cruz da Conceição (2007) e Esri (2015).

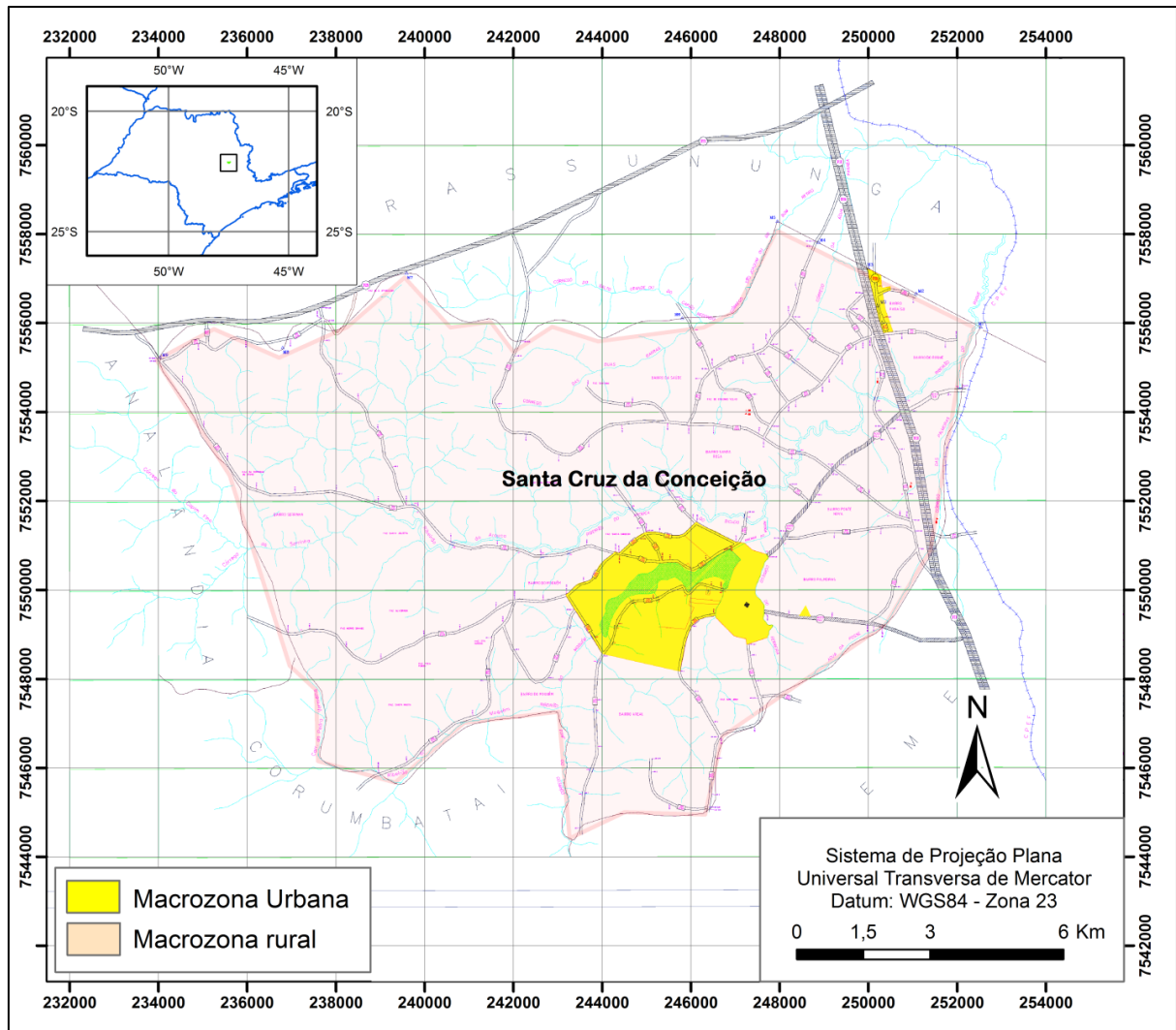


Figura 26. Área destinada à expansão urbana do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Fonte: Santa Cruz da Conceição (2007) e Esri (2015).

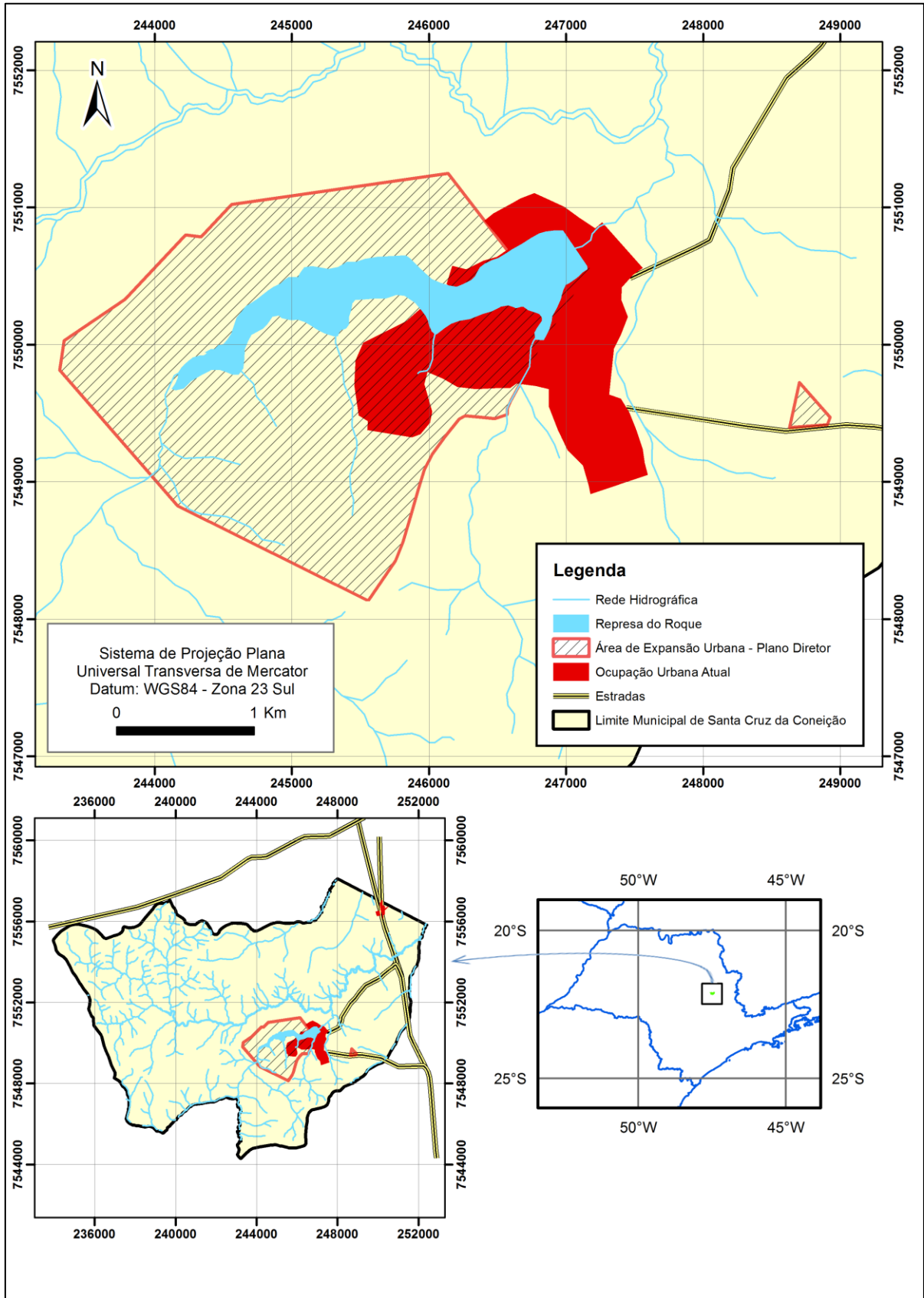


Figura 27. Áreas de interesse especial ambiental, turístico e de paisagem edificada do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Fonte: Santa Cruz da Conceição (2007) e Esri (2015).

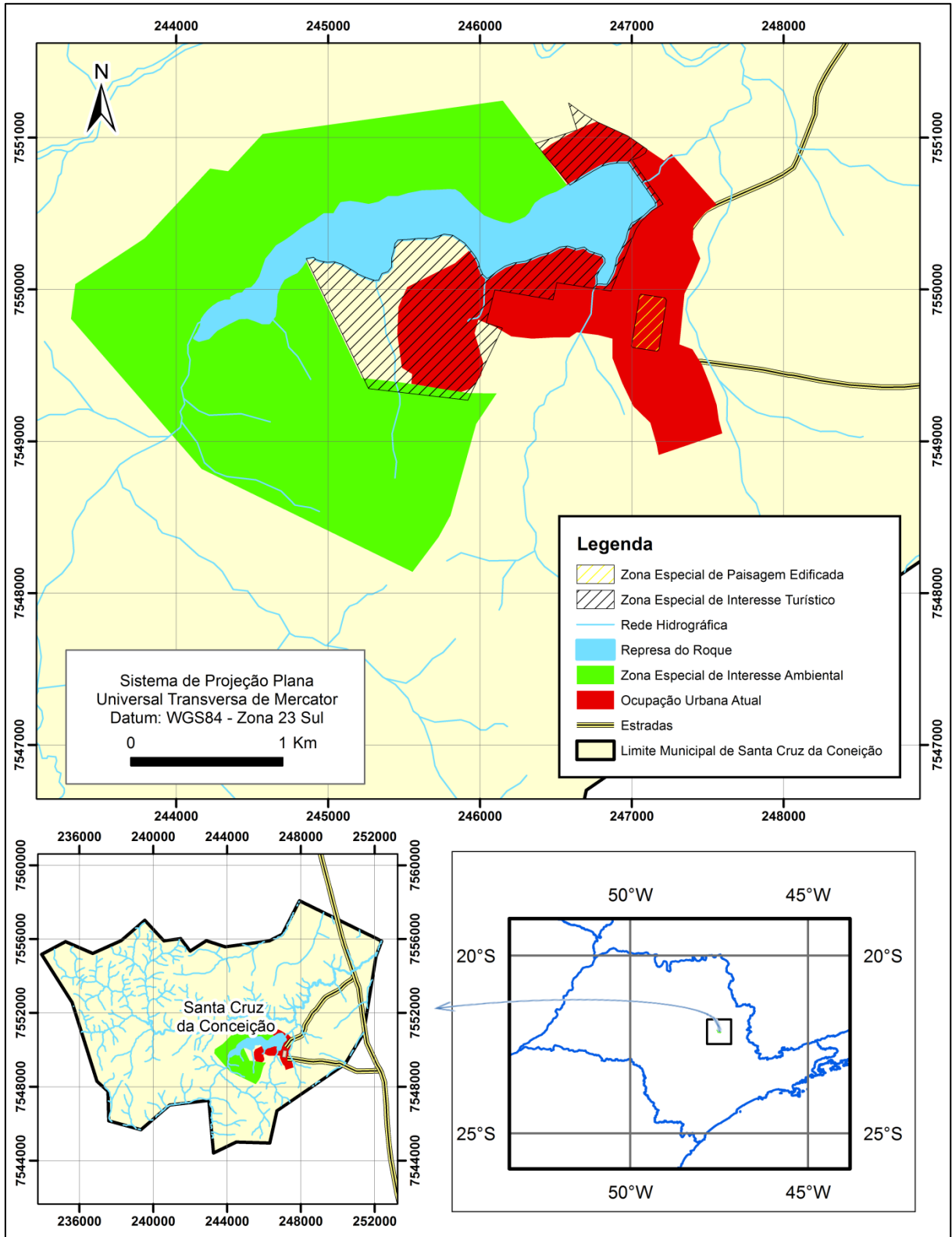
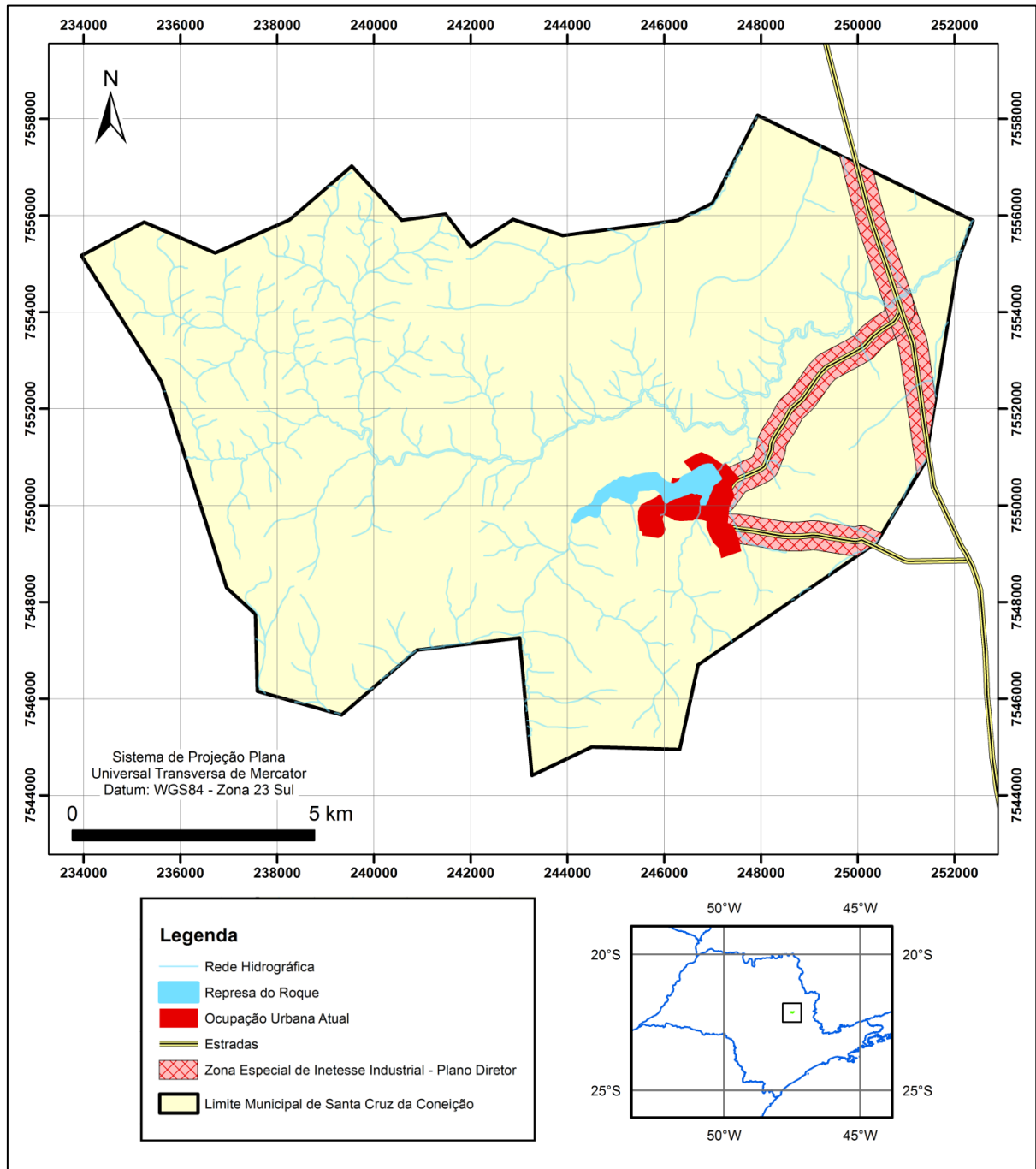


Figura 28. Zonas especiais de interesse industrial do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Fonte: Santa Cruz da Conceição (2007) e Esri (2015).



4.1.7. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

No ano de 2014, Santa Cruz da Conceição (SP) gerou em média 2,03 t/dia de resíduos sólidos urbanos e realizou a disposição deste montante no município de

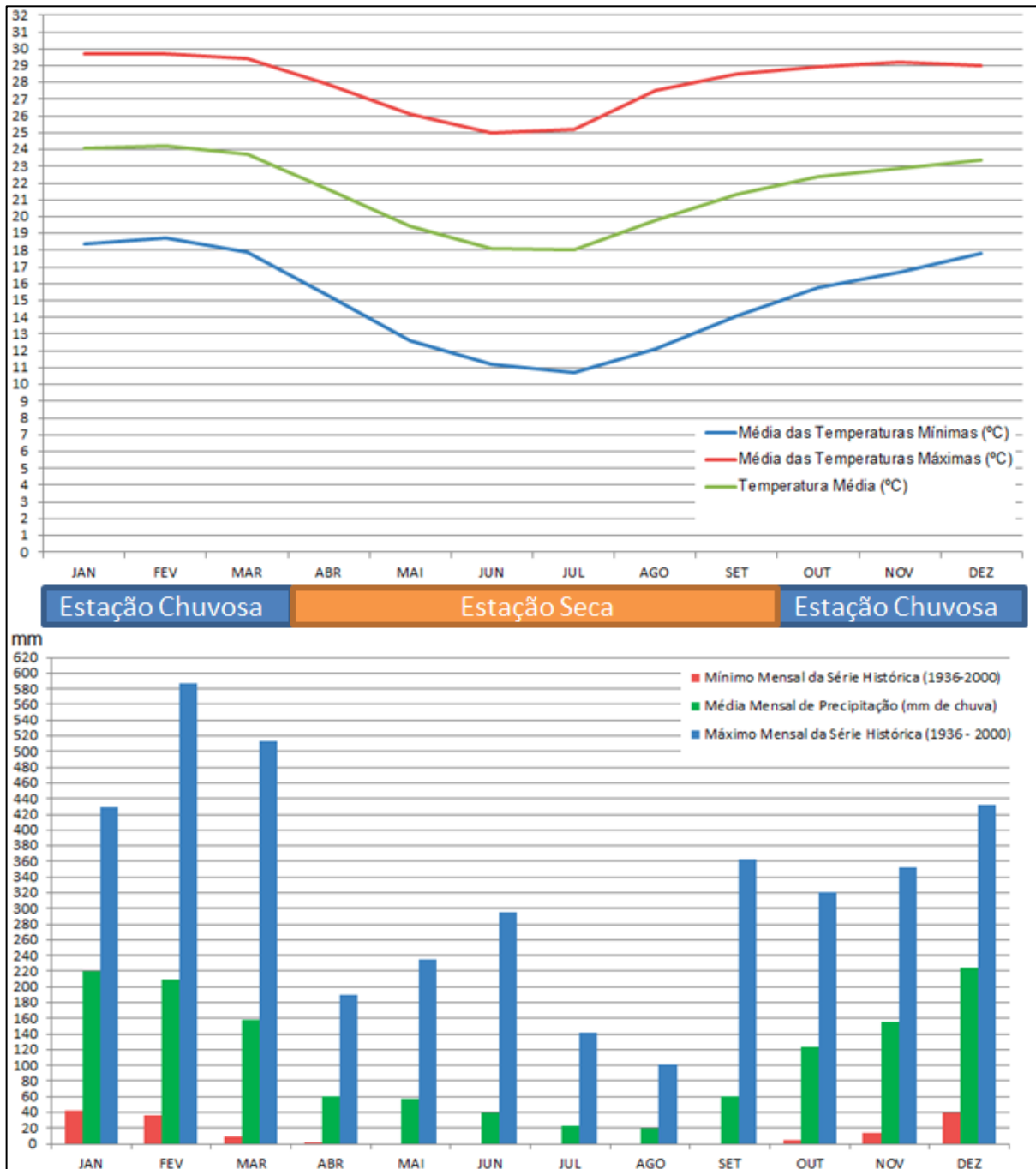
Leme. No mesmo ano, em todo o Estado de São Paulo, foram geradas cerca de 39 mil toneladas de RSU por dia, sendo que parcela significativa destes resíduos foram gerados em regiões próximas a Santa Cruz da Conceição. A Cetesb considera inadequada a situação atual de Santa Cruz da Conceição, uma vez que dispõe seus resíduos em Leme, onde a qualidade do aterro de resíduos também é considerada ruim (IQR=3,4). O IQR é um índice que varia de 0 a 10 e busca classificar a qualidade dos locais de destino de resíduos sólidos urbanos, levando em consideração a adequabilidade do monitoramento geotécnico do aterro, a ocorrência de episódio de queima de resíduos a céu aberto, a análise da vida útil do aterro e a ocorrência de restrições legais ao uso do solo. O Índice de Qualidade de aterro de Resíduos (IQR) de Leme em 2014 foi de 3,4. Dentro desta perspectiva, o aterro de Leme foi classificado como um dos piores do Estado de São Paulo (IWAI; ASSUMPÇÃO, 2015).

4.1.8. Clima

Segundo dados do Cepagri (2015), o clima do município é enquadrado no tipo “Cwa” (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente) (KÖPPEN, 1948). Desta forma, é caracterizado como um clima mesotérmico, com grande amplitude térmica anual e temperaturas médias do mês mais frio de 18°C. Este tipo climático apresenta duas estações bem definidas: período chuvoso e quente e período seco com médias de temperaturas mais baixas (Figura 29).

A temperatura média do mês mais quente no município é de 29,7°C. Dados pluviométricos disponíveis no Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo indicam que no local ocorre precipitação média anual de 1.349,24 milímetros. A estação seca, com temperaturas mais baixas, ocorre nos meses de abril a setembro. Os meses mais chuvosos e mais quentes ocorrem entre outubro e março (SIGRH, 2015).

Figura 29. Temperaturas e pluviosidade ao longo do ano no município de Santa Cruz da Conceição (SP). Fonte de dados: Cepagri (2015).

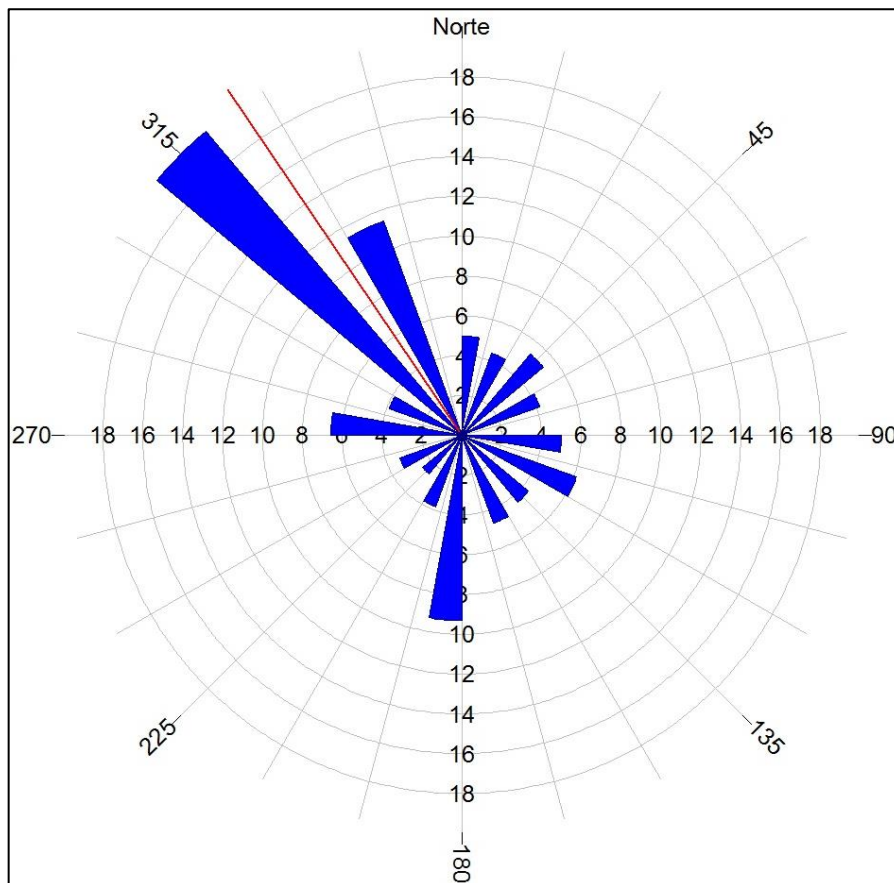


Em relação aos ventos, predominam os ventos alísios, com velocidade média de 5,4 km/h, podendo atingir até 7 km/h nos meses de máxima (GOMES, 2003).

Dados colhidos pelo Laboratório de Ciências Agrárias (Universidade de São Paulo - Pirassununga), referentes ao período de novembro de 2008 e abril de 2016,

permitiram a geração dos diagramas de roseta com as direções predominantes dos ventos na região (a partir das quais os ventos se originam). O diagrama a seguir mostra a frequência da direção dos ventos, no qual 35% sopram da direção noroeste (315°). As escalas de frequência em porcentagem são mostradas nos eixos norte-sul e leste-oeste, variando de 0 a 18% (Gráfico 4).

Gráfico 4. Diagrama de rosetas com frequências de direção de ventos. Diagrama elaborado neste trabalho com base em dados fornecidos pelo Laboratório de Ciências Agrárias (USP, 2016).



4.1.9. Águas Superficiais

O município de Santa Cruz da Conceição está localizado na Bacia do Rio Mogi-Guaçu e se insere na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição. A instituição tem avaliado a

qualidade das águas doces superficiais do Estado de São Paulo desde 1974 (KOMATSU, 2015).

Em 2013 o índice de qualidade das águas (IQA) do Ribeirão do Roque ficou classificado como “bom”, com valor médio de 67 (KOMATSU, 2014). Para o cálculo do IQA são consideradas variáveis de qualidade, que indicam o lançamento de efluentes sanitários em corpos hídricos, fornecendo uma visão geral sobre as condições de qualidade das águas superficiais. Este índice também pode indicar alguma contribuição de efluentes industriais, desde que sejam de natureza orgânica biodegradável (KOMATSU, 2015). Em 2013 o município de Santa Cruz da Conceição coletava e tratava 95% do esgoto doméstico e apresentava indicador de coleta e proporção de tratamento de esgoto da população urbana (ICTEM) igual a 7,99 (KOMATSU, 2014). O ponto de monitoramento da Cetesb para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque localiza-se na foz deste rio, como indica a figura 30.

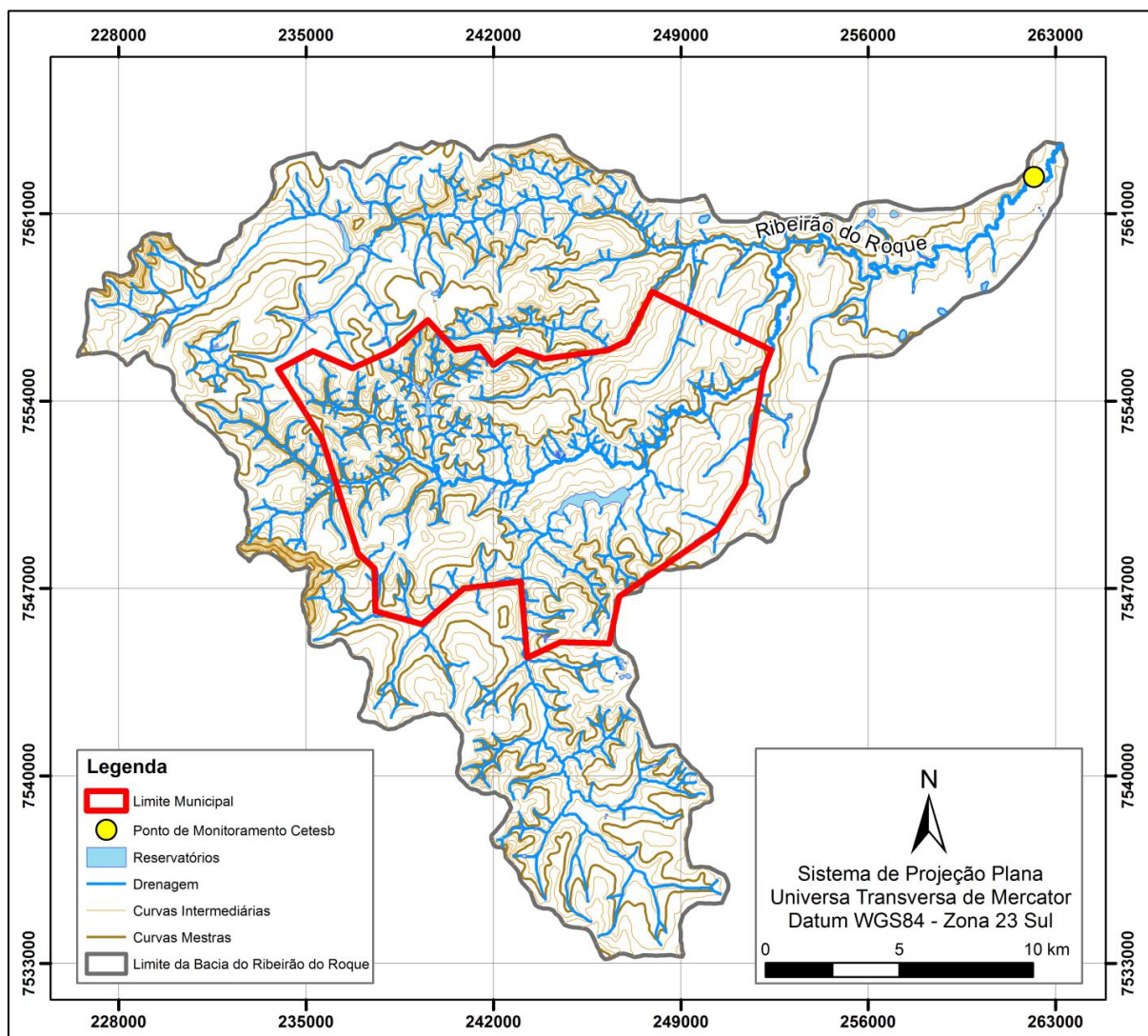
Em 2014, no Ribeirão do Roque, o índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática (IVA) ficou enquadrado como qualidade regular, com valor médio igual a 3,4. Este índice leva em consideração os dados de oxigênio dissolvido, pH, toxicidade, substâncias tóxicas e grau de trofia (KOMATSU, 2015). Em 2013 este índice era ótimo, com valor médio de 2,1 (KOMATSU, 2014).

O Índice IET (Índice do Estado Trófico) foi de qualidade boa com valor médio igual a 51. Este índice avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e o efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias (KOMATSU, 2015). No ano de 2013 este índice teve média de 50, apresentando boa qualidade (KOMATSU, 2014).

Os índices IB, IAP, ICF, ICZ, e ICB não foram medidos especificamente em nenhum ponto da Bacia do Ribeirão do Roque. O quadro 12 apresenta a descrição destes índices.

Estes índices de qualidade são utilizados para fornecer uma visão geral da qualidade da água, integrando os resultados de diversas variáveis (Quadro 13) em indicadores classificados em categorias (Quadro 14).

Figura 30. Ponto de monitoramento de qualidade de água da Cetesb na foz do Ribeirão do Roque. Composição a partir de informações de Reis et. al. (2014) e Komatsu (2015).



Quadro 12. Descrição de Índices de Qualidade das Águas. Fonte: Komatsu (2015).

IB	ÍNDICE DE BALNEABILIDADE RELACIONADO À QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA LAZER
IAP	ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTAS PARA FINS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO
ICF	ÍNDICE DE COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA
ICZ	ÍNDICE DE COMUNIDADE ZOOPLANCTÔNICA
ICB	ÍNDICE DE COMUNIDADE BENTÔNICA

Quadro 13. Variáveis monitoradas no Ribeirão do Roque entre 2009 e 2014. Fonte: Komatsu (2015).

Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		Turbidez (UNT)		Nitrato		Nitrogênio Amônia	
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013
42	48	6,3	55	0,43	0,51	0,16	0,1
Manganês Total		Níquel Total		Zinco Total		Ens. Ecotoxic. c/ Ceriodaphnia dubia	
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013
0	33	0	0	0	0	75	0
Oxigênio Dissolvido		DBO (5,20)		Fósforo			
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013		
7,8	6,2	2,2	3,5	0,03	0,09		
Cádmio Total		Mercúrio Total		Chumbo Total			
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013		
0	0	0	8	0	8		
Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{L}$)		Cobre Dissolvido					
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013				
1,3	0,65	0	0				
Alumínio Dissolvido		Ferro Dissolvido					
Média 2014	Média 2009-2013	Média 2014	Média 2009-2013				
25	50	75	75				

* Unidades em mg/L
Exceto as com indicações específicas

Quadro 14. Categorias e faixas de classificação dos índices de qualidade de água. Em destaque (retângulo preto) as categorias registradas em 2013 e 2014 no Ribeirão do Roque. Fonte: Adaptado de Komatsu (2015).

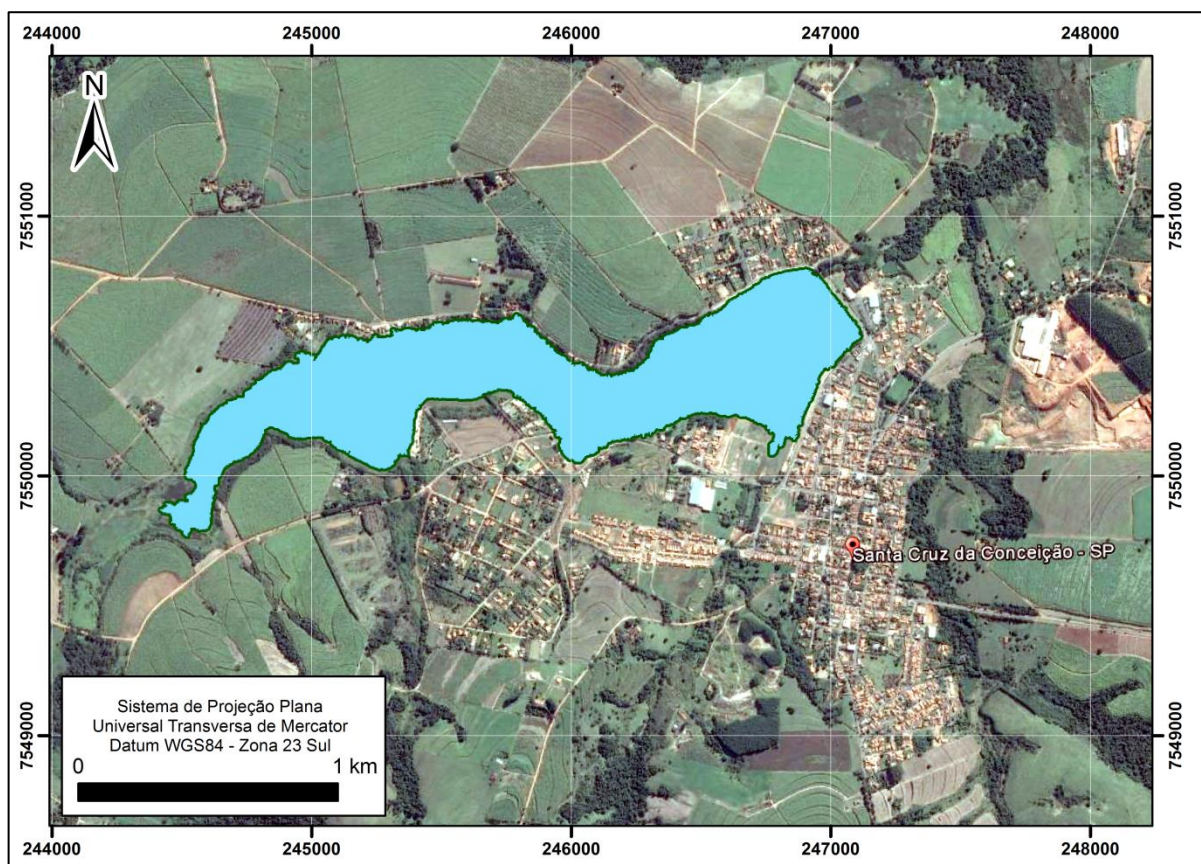
Índice de Qualidade	Categoria					
IQA	Ótima $79 < \text{IQA} \leq 100$	Boa $51 < \text{IQA} \leq 79$	Regular $36 < \text{IQA} \leq 51$		Ruim $19 < \text{IQA} \leq 36$	Péssima $\text{IQA} \leq 19$
IAP	Ótima $79 < \text{IAP} \leq 100$	Boa $51 < \text{IAP} \leq 79$	Regular $36 < \text{IAP} \leq 51$		Ruim $19 < \text{IAP} \leq 36$	Péssima $\text{IAP} \leq 19$
IVA	Ótima $\text{IVA} \leq 2,5$	Boa $2,6 \leq \text{IVA} \leq 3,3$	Regular $3,4 \leq \text{IVA} \leq 4,5$		Ruim $4,6 \leq \text{IVA} \leq 6,7$	Péssima $\text{IVA} \geq 6,8$
IET	Ultraoligotrófico $\text{IET} \leq 47$	Oligotrófico $47 < \text{IET} \leq 52$	Mesotrófico $52 < \text{IET} \leq 59$	Eutrófico $59 < \text{IET} \leq 63$	Supereutrófico $63 < \text{IET} \leq 67$	Hipereutrófico $\text{IET} > 67$
ICF	Ótima 1	Boa 2	Regular 3		Ruim 4	
ICZ		Boa	Regular		Ruim	Péssima
IB	Ótima Praias excelentes em 100% do tempo	Boa Praias próprias em 100% do tempo	Regular Praias impróprias em até 25% do tempo		Ruim Praias impróprias entre 25 e 50% do tempo	Péssima Praias impróprias em mais de 50% do tempo

No município existe ainda um reservatório hídrico superficial que está localizado em uma área adjacente à zona urbana, denominado de “Represa Euclides Morelli” (Figura 31). Ele foi construído no final da década de 1970 e é

popularmente chamado de “Represa do Roque” (FUSHITA, 2006). A represa tem significativa importância para o município, pois está relacionada às atividades de turismo, esportes, pesca e lazer. O Plano Diretor do município aponta a realização de diversas ações com o objetivo de incentivar estas atividades. Neste, inclui-se a proteção e melhoria ambiental em Áreas de Preservação Permanente, implantação de complexo turístico, introdução de alevinos, ações de incentivo a esportes náuticos e turismo em geral (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

É possível observar que as águas superficiais de Santa Cruz da Conceição apresentam, de maneira geral, boa qualidade, e os períodos de estiagem podem contribuir para a piora dos resultados dos parâmetros.

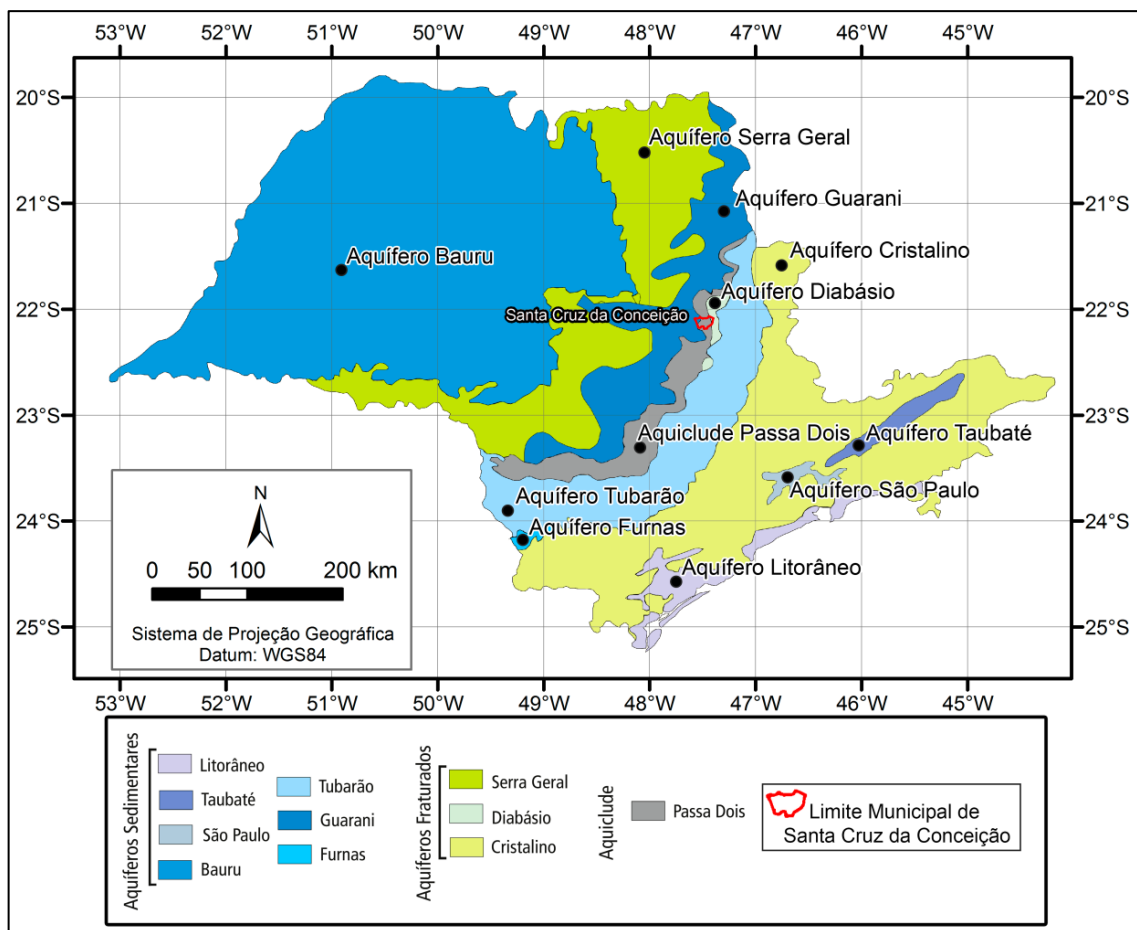
Figura 31. Represa Euclides Morelli, área urbana e entorno rural de Santa Cruz da Conceição. Imagem de referência: Google Earth (2015).



4.1.10. Águas Subterrâneas (Hidrogeologia)

Com relação às águas subterrâneas, o município contém águas do Aquífero Guarani, do Aquífero Diabásio, Aquífero Serra Geral, Aquífero Tubarão e do Aquícluído Passa Dois (Figura 32).

Figura 32. Unidades aquíferas do Estado de São Paulo. Fonte: Iritani e Ezaki (2012).



Particularmente importante é o Sistema Aquífero Guarani (SAG), um reservatório de água subterrânea composto por arenitos mesozoicos das formações Pirambóia e Botucatu. Tais arenitos foram acumulados entre 200 e 130 milhões de anos atrás e são cobertos por espessas camadas basálticas que os confinam. A extensão regional deste aquífero envolve uma área de aproximadamente 1.200.000 km², envolvendo regiões do Brasil (850.000 km²) Argentina (225.000 km²), Paraguai (70.000 km²) e Uruguai (45.000 km²). O sistema é considerado um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, sendo seus arenitos bastante

homogêneos e possuindo boa permo-porosidade, o que leva a uma elevada capacidade de armazenamento e fornecimento de água. A reserva atual representada por este aquífero é de cerca de 37.000 km³, enquanto que a recarga natural é de 166 km³ por ano; as águas são encontradas entre 50 e 1500m de profundidade, com temperaturas que variam de 33° a 65°C, sendo, em geral, de boa qualidade para o consumo humano e outros usos, sendo utilizado para abastecimento por diversos municípios (OAS, 2005; IRITANI; EZAKI, 2012).

O Aquiclude Passa Dois é uma unidade hidrogeológica sedimentar de extensão regional que separa os Aquíferos Tubarão e Guarani. Formado entre 250 e 230 milhões de anos atrás, é composto por sedimentos depositados em ambiente marinho. As litologias encontradas, bastante heterogêneas, são predominantemente de folhelhos, siltitos, argilitos, calcários e dolomitos que ocorrem como camadas com diferentes espessuras, às vezes, ritmicamente intercaladas. Como é constituído por sedimentos predominantemente finos, apresenta produtividade insuficiente para o abastecimento de grandes comunidades (IRITANI; EZAKI, 2012). Os aquicludes possuem a característica de apresentar grande porosidade, porém apresentam baixa permeabilidade, se comportando como um meio relativamente impermeável (KARMANN, 2000). Algumas vezes, o Aquiclude Passa Dois é classificado, localmente, como aquitarde, devido à ocorrência de eventuais fraturas e certa produtividade de água (IRITANI; EZAKI, 2012).

O Aquífero Tubarão é um aquífero sedimentar de extensão regional que foi formado há cerca de 250 milhões de anos. É constituído por sedimentos depositados em ambiente glacial, continental e marinho. Nele ocorrem siltitos, argilitos, folhelhos, arenitos muito finos, arenitos conglomeráticos e ritmitos. O aquífero em geral apresenta baixa produtividade de água para consumo (IRITANI; EZAKI, 2012).

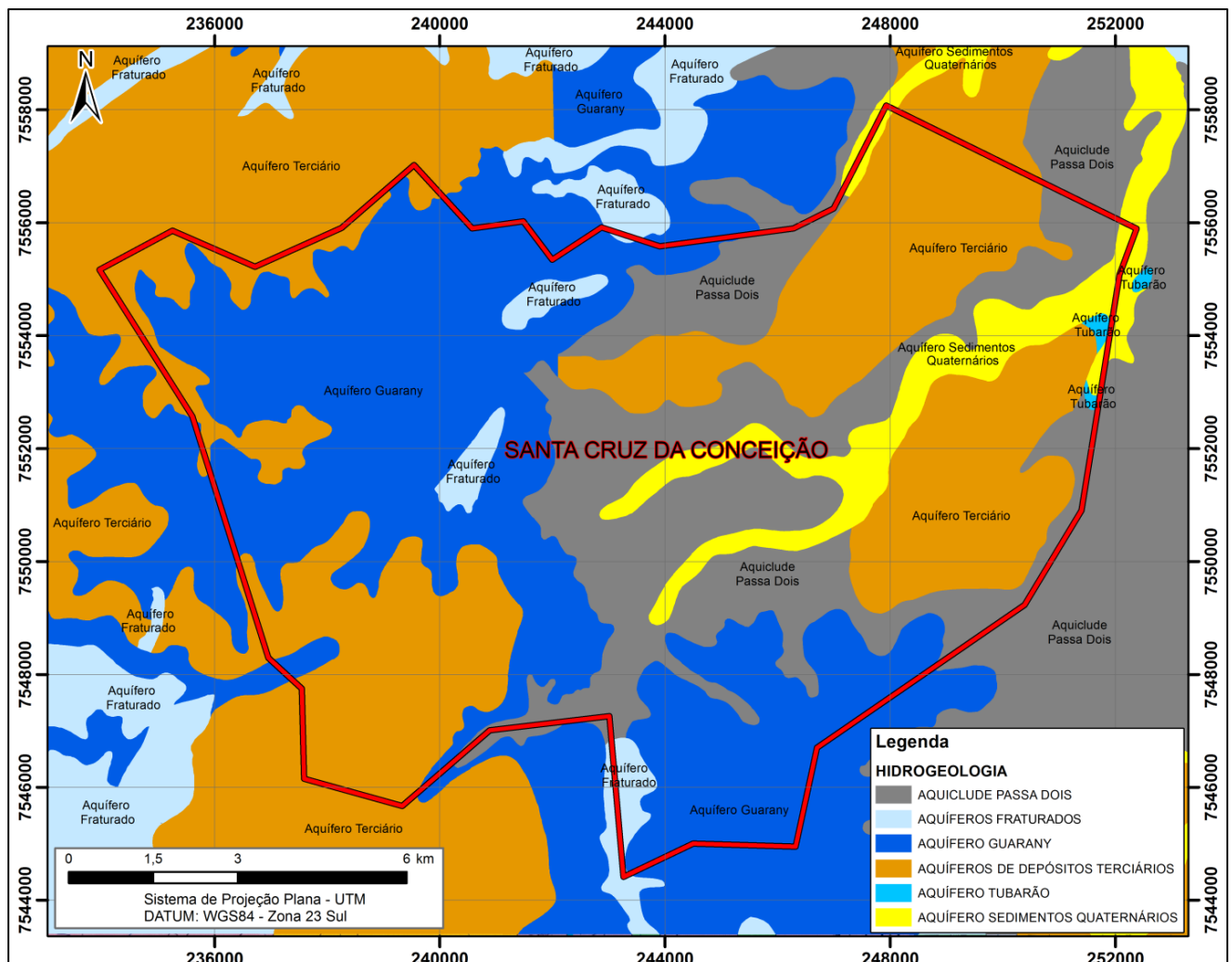
O Aquífero Diabásio é um aquífero fraturado, com extensão restrita. Localiza-se entre os aquíferos Tubarão e Guarani e o Aquiclude Passa Dois, ocorrendo principalmente na região nordeste do Estado de São Paulo. Formado entre 138 e 127 milhões de anos atrás, é constituído de diabásios gerados a partir do resfriamento e solidificação do magma em subsuperfície. Os diabásios ocorrem como corpos sub-horizontais (soleiras) e verticais (diques) e por vezes afloram na superfície do terreno. A circulação e o armazenamento da água subterrânea estão condicionados à ocorrência de fraturas geradas por esforços tectônicos decorrentes

da movimentação da crosta terrestre. A água deste aquífero apresenta boa qualidade para consumo humano e demais usos (IRITANI; EZAKI, 2012).

O Aquífero Serra Geral é um aquífero fraturado, de extensão regional. Formado entre 138 e 127 milhões de anos atrás, é constituído por uma sequência de derrames de lava vulcânica, que originaram as rochas basálticas.

A figura 33 exibe o mapa com as áreas de recarga dos respectivos aquíferos na área do município de Santa Cruz da Conceição. Os aquíferos Serra Geral e Diabásio foram reunidos e destacados como “Aquíferos Fraturados”. Além das unidades regionais já apresentadas no mapa das unidades aquíferas do Estado de São Paulo, são apresentadas as áreas de recarga dos aquíferos de depósitos terciários e depósitos quaternários. O mapa foi produzido a partir do mapa geológico em escala 1:50.000 do Instituto Geológico (1980; 1984).

Figura 33. Mapa das Áreas de Recarga de Aquíferos local. Elaborado neste trabalho a partir de informações do IG (1980; 1984).

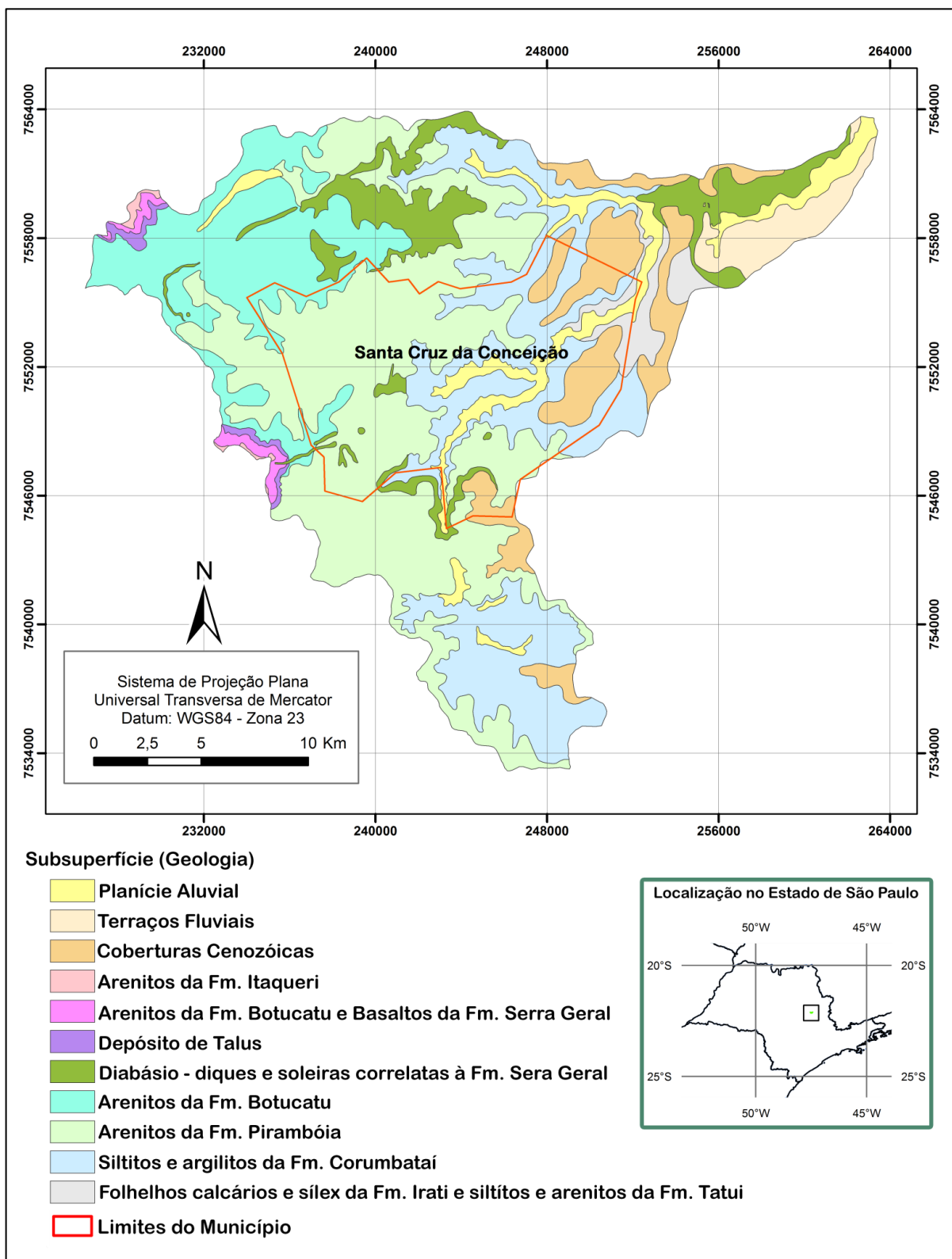


4.1.11. Geologia

O município de Santa Cruz da Conceição está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta, em sua superfície, rochas das formações Corumbataí (Paleozóico/ Mesozóico), Irati (Permiano) e Piramboia (Triássico/ Jurássico), conforme Araújo (2008). No local, a Formação Corumbataí é constituída por siltitos, argilitos e areias médias e a Formação Irati corresponde, na porção superior, a folhelhos betuminosos e calcários fossilíferos; em sua porção inferior a siltitos e folhelhos com níveis conglomeráticos basais. (THEODOROVICZ et al., 2002;).

Reis et al. (2014), realizaram o mapeamento geológico-geotécnico da bacia do Ribeirão do Roque, em escala 1:50.000, a partir do qual foi gerada a figura 34. Segundo os autores, os termos litológicos são assim distribuídos: na região oeste do município ocorrem arenitos da Formação Piramboia e manchas de arenitos da Formação Botucatu; na região central e leste ocorrem siltitos e argilitos da Formação Corumbataí; na região leste e sul ocorrem coberturas cenozoicas, e na região leste também ocorrem pequenas áreas com folhelhos calcários e sílex da Formação Irati e siltitos e arenitos da Formação Tatuí. Ocorrem intrusões de diabásio correlato à Formação Serra Geral no centro-oeste, oeste e sul do município. Em direção nordeste a planície aluvial atravessa o município.

Figura 34. Mapa geológico da Bacia do Ribeirão do Roque. Composição a partir de Reis et al. (2014).



4.1.12. Geomorfologia

Segundo Ross (2006), no Estado de São Paulo, a transição dos terrenos altos do cristalino para a depressão da Bacia Sedimentar do Paraná está esculpida em sedimentos em que predominam altitudes entre 600 m e 700 m. De acordo com aquele autor, o município está situado na Depressão da borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná. A borda está esculpida, quase totalmente, por sedimentos paleozoicos e mesozoicos. A região apresenta modelados diversos em função da influência tectônica, variação litológica e dos graus de atuação dos processos erosivos dos mais variados ambientes paleoclimáticos. Na classificação de Ross e Moroz (1997), Santa Cruz da Conceição está inserida na Depressão Periférica Paulista, especificamente na Depressão do Mogi Guaçu, cujos modelados dominantes são as colinas com topos amplos.

Reis et al. (2014) produziram informações sobre as formas de relevo da Bacia do Ribeirão do Roque em nível de semi-detilhe em escala 1:50.000, conforme apresentado na Figura 35. Assim, o mapeamento apontou a existência de 5 formas de relevo no município. A maior parte do território é composta por zonas de meia-encosta. Na porção leste e sul ocorrem relevos colinosos, encostas suaves, morrotes alinhados; em poucas áreas na porção sudoeste do município são encontradas encostas íngremes. Nas demais áreas ocorrem planícies aluviais.

A figura 36 exibe o mapa de declividade do município, elaborado a partir das curvas de nível das cartas topográficas do IBGE (IBGE, 1971a; 1971b). O mapeamento das classes de declividade demonstra que, essencialmente, o município é dominado por regiões com declividades que variam de 0° a 5° e regiões com declividades variando de 5° a 17°. A figura 37 exibe o mapa hipsométrico concebido a partir da imagem altimétrica e do relevo sombreado, disponibilizados pelo sistema Topodata (INPE, 2008).

Figura 35. Formas de relevo da Bacia do Ribeirão do Roque. Composição com base em mapeamento elaborado por Reis et al. (2014).

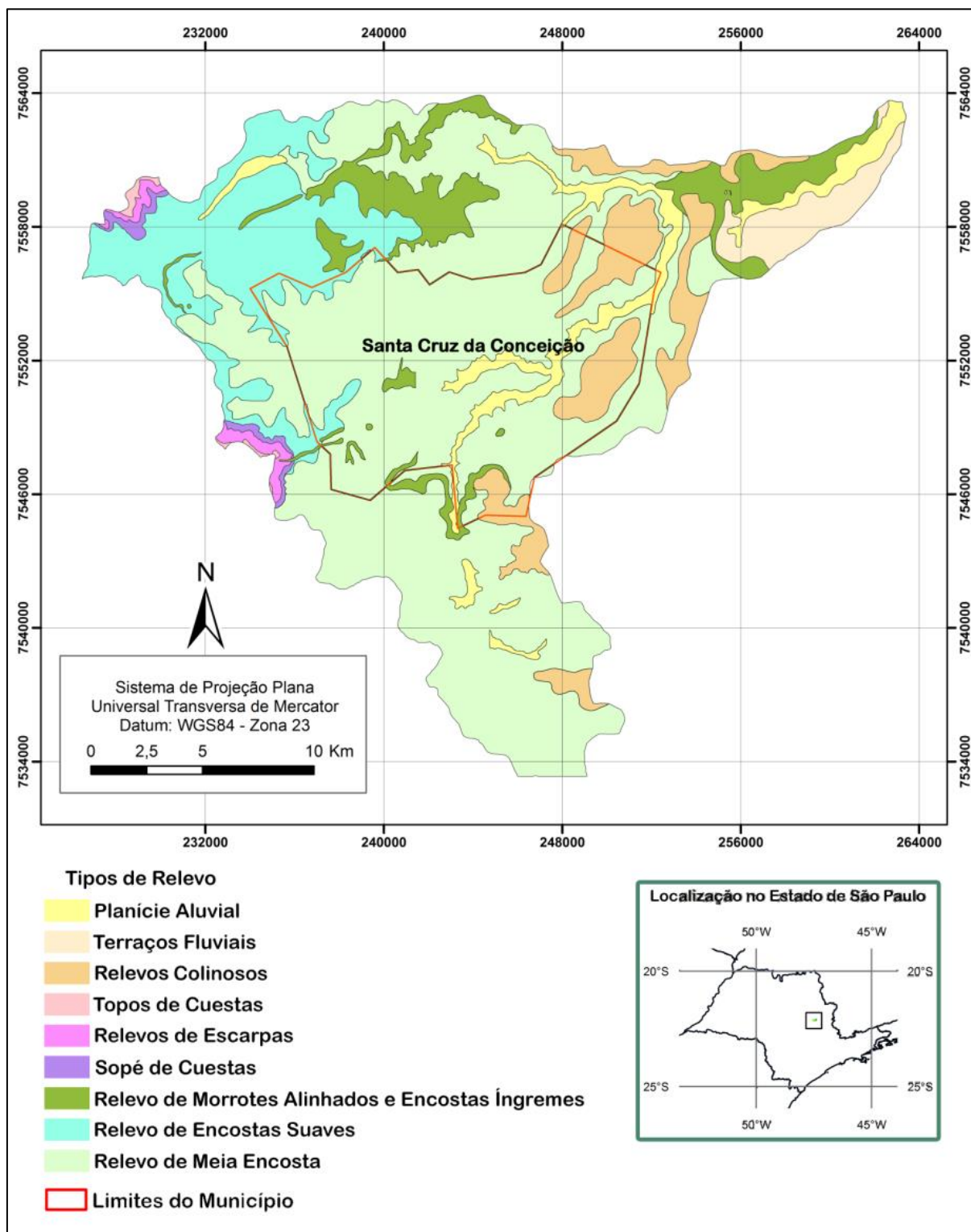


Figura 36. Mapa com classes de declividade município de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição a partir das informações do IBGE (1971a; 1971b).

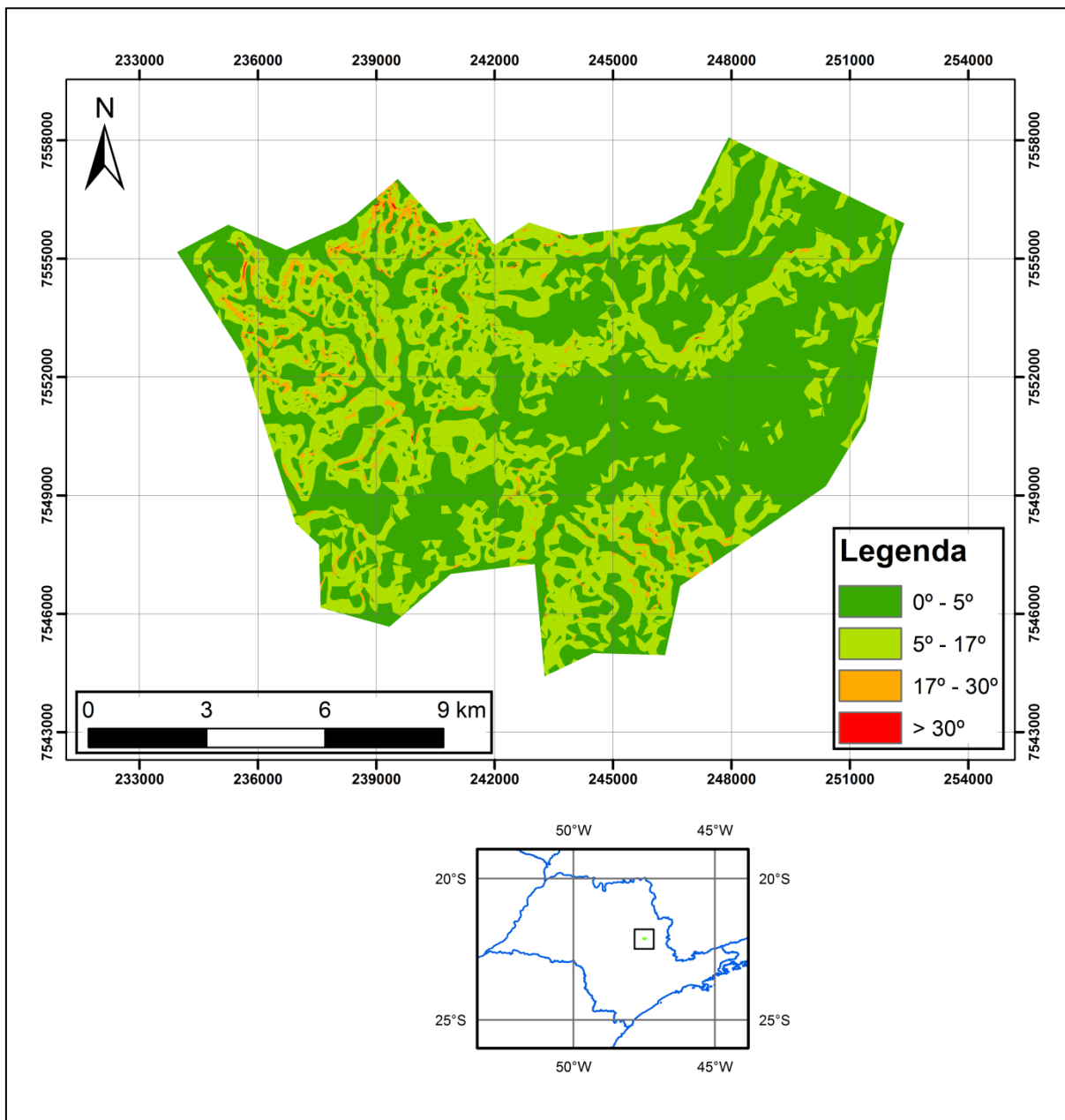
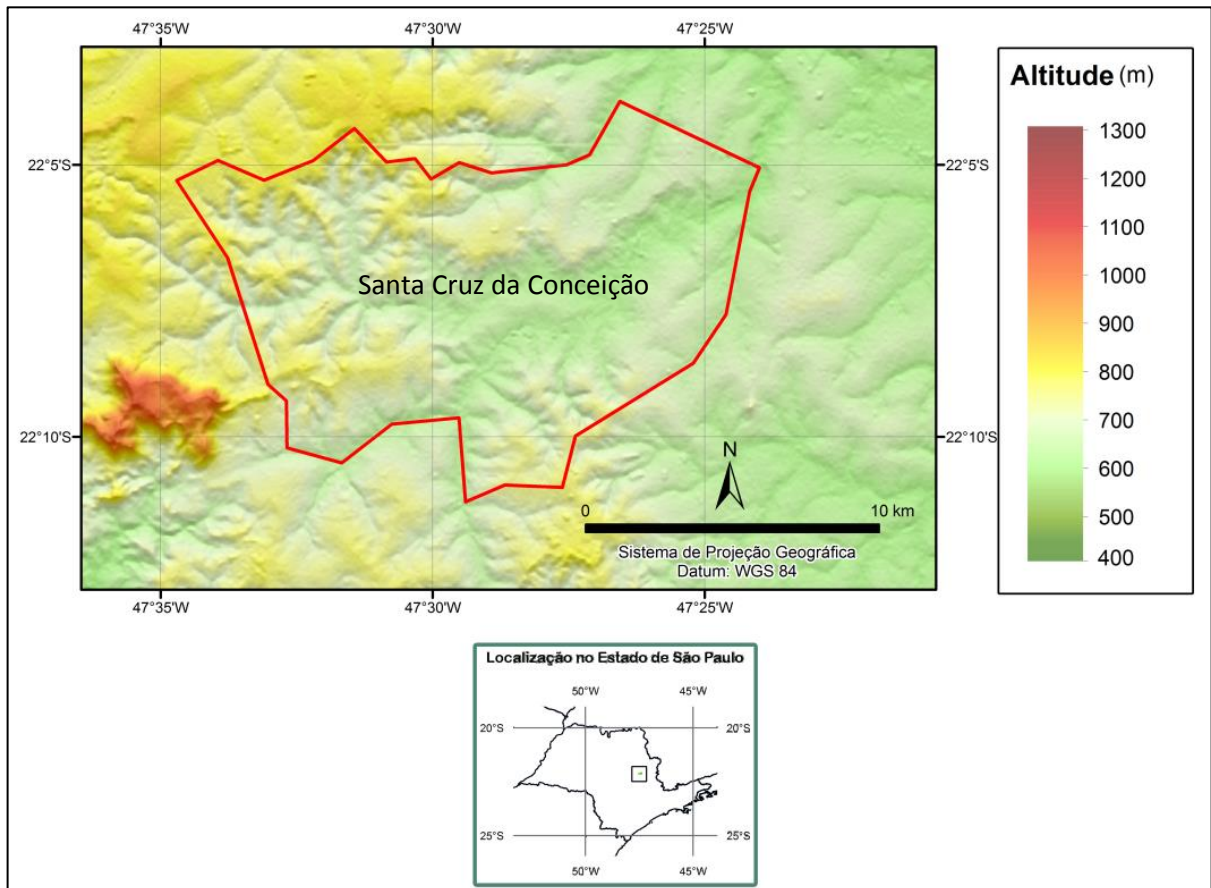


Figura 37. Mapa hipsométrico do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição elaborada a partir de dados do INPE (2008).

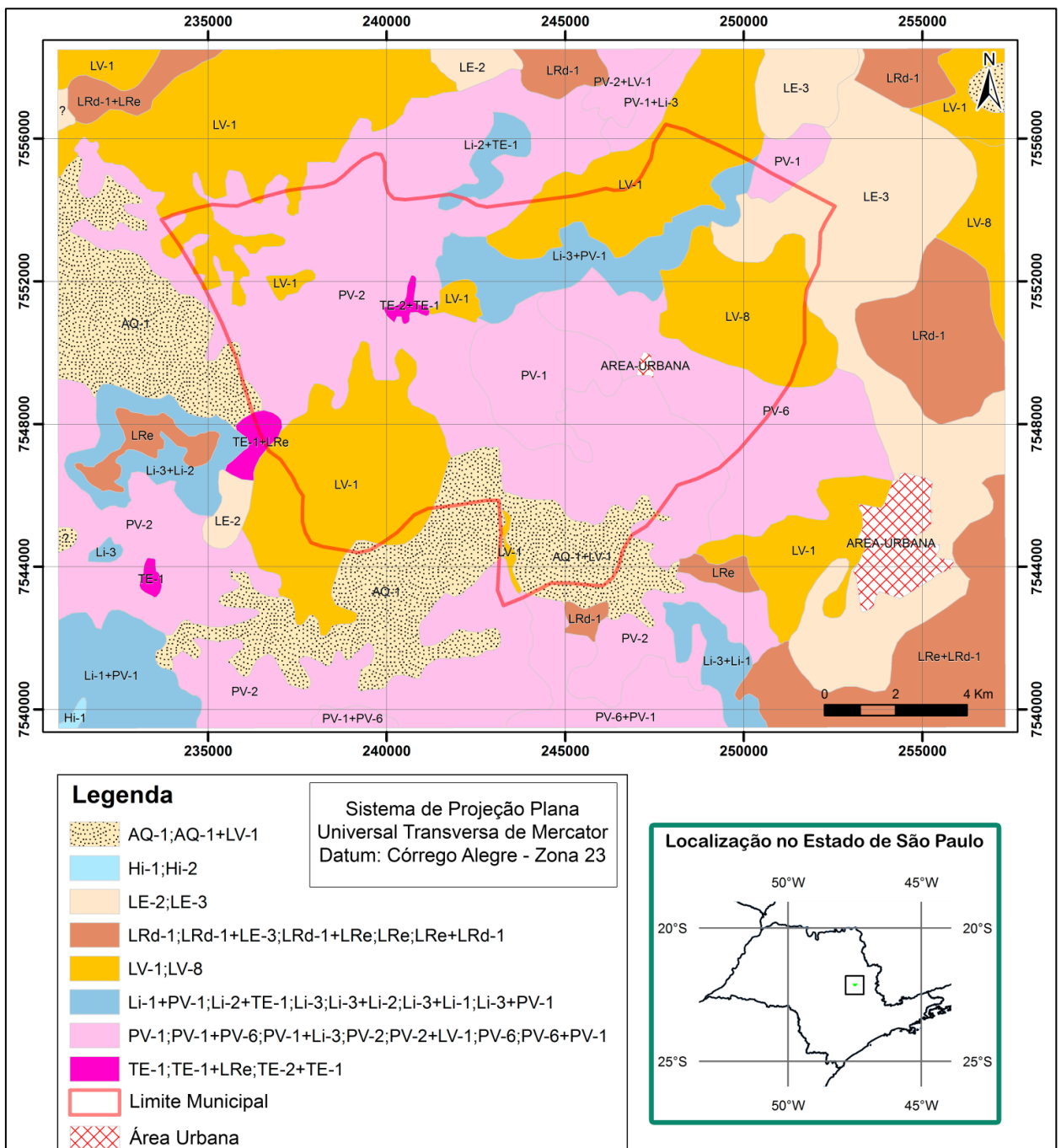


4.1.13. Pedologia

O “Mapa Pedológico do Município de Santa Cruz da Conceição”, produzido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em escala 1:150.000, aponta a ocorrência de 7 diferentes classes de solos. Destacam-se os argissolos, latossolos, neossolos litólicos e neossolos quartzarênicos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (IAC, 2005). Segundo Oliveira (1999), os argissolos possuem textura média ou arenosa em superfície, apresentam baixa atividade da fração argila e são muito profundos; já os latossolos, de maneira geral, possuem alta porosidade (50-60%), boa drenagem interna e boa tolerância à perda por erosão. Os neossolos litólicos, por sua vez, exibem pouca profundidade efetiva e estão distribuídos em terrenos fortemente ondulados e montanhosos e são muito suscetíveis à erosão. Os neossolos quartzarênicos são, em geral, essencialmente

areno-quartzosos, apresentando elevada profundidade, textura grosseira e alta permeabilidade, sendo muito suscetíveis a erosão. O Quadro 15 exibe a descrição da legenda referente ao mapeamento exibido na figura 38, incluindo somente os grupos de solos presentes no interior dos limites do município de Santa Cruz da Conceição.

Figura 38. Mapa Pedológico do Município de Santa Cruz da Conceição (SP) – Escala 1:150.000. Conforme IAC (2005).

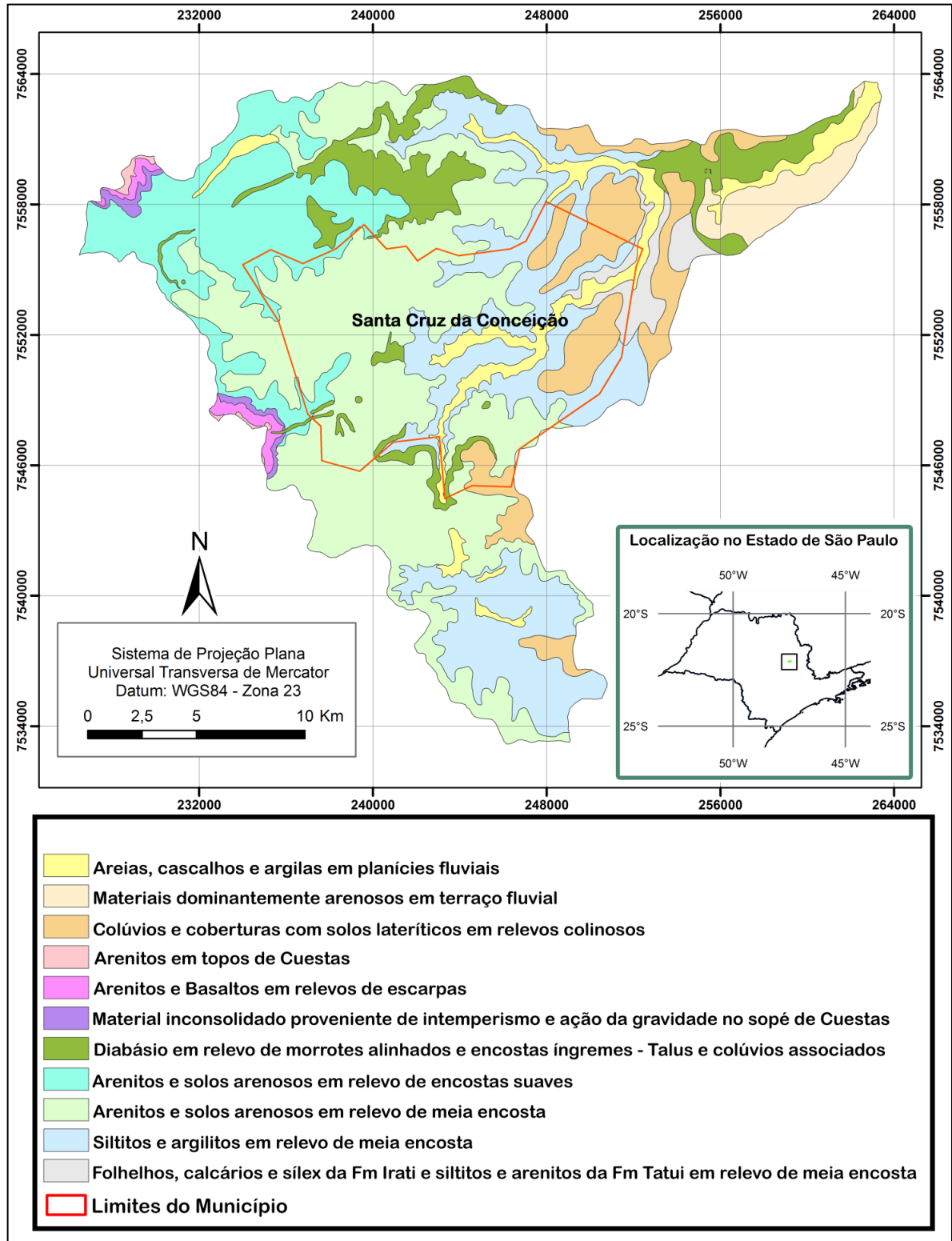


Quadro 15. Descrição da legenda do Mapa Pedológico (Figura 38). Fonte: IAC (2005).

AQ-1	Areia Quartzosa profunda, álica, A moderado, textura excessivamente drenada
AQ-1+LV-1	Areia Quartzosa profunda, álica, A moderado, textura excessivamente drenada + Latossolo Vermelho Amarelo, álico ou distrófico, A moderado, textura média
LE-3	Latossolo Vermelho Escuro, álico, distrófico ou ácrico, A moderado, textura argilosa
Li-2+TE-1	Litólico, eutrófico ou distrófico, A moderado, textura média + Terra Roxa Estruturada, eutrófico ou distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa
Li-3+PV-1	Litólico, eutrófico ou distrófico, A moderado ou proeminente, textura indiscriminada ou média + Podzólico Vermelho Amarelo, abruptico, Tb, álico, distrófico, A moderado, textura média/argilosa
LV-1	Latossolo Vermelho Amarelo, álico ou distrófico, A moderado, textura média
LV-8	Latossolo Vermelho Amarelo, álico ou distrófico, A moderado, textura argilosa ou média
PV-1	Podzólico Vermelho Amarelo, abruptico, Tb, álico, distrófico, A moderado, textura média/argilosa
PV-2	Podzólico Vermelho Amarelo, abruptico Tb, distrófico, álico, A moderado, textura média/argilosa
TE-1+LRe	Terra Roxa Estruturada, eutrófico ou distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa + Latossolo Roxo, eutrófico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa
TE-2+TE-1	Terra Roxa Estruturada, distrófico ou eutrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa + Terra Roxa Estruturada, eutrófico ou distrófico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa
PV-1+PV-6	Podzólico Vermelho Amarelo, abruptico, Tb, álico, distrófico, A moderado, textura média/argilosa + Podzólico Vermelho Amarelo, Tb, distrófico ou álico, A moderado, textura argilosa ou média/argilosa
PV-6+PV-1	Podzólico Vermelho Amarelo, Tb, distrófico ou álico, A moderado, textura argilosa ou média/argilosa + Podzólico Vermelho Amarelo, abruptico, Tb, álico, distrófico, A moderado, textura média/argilosa

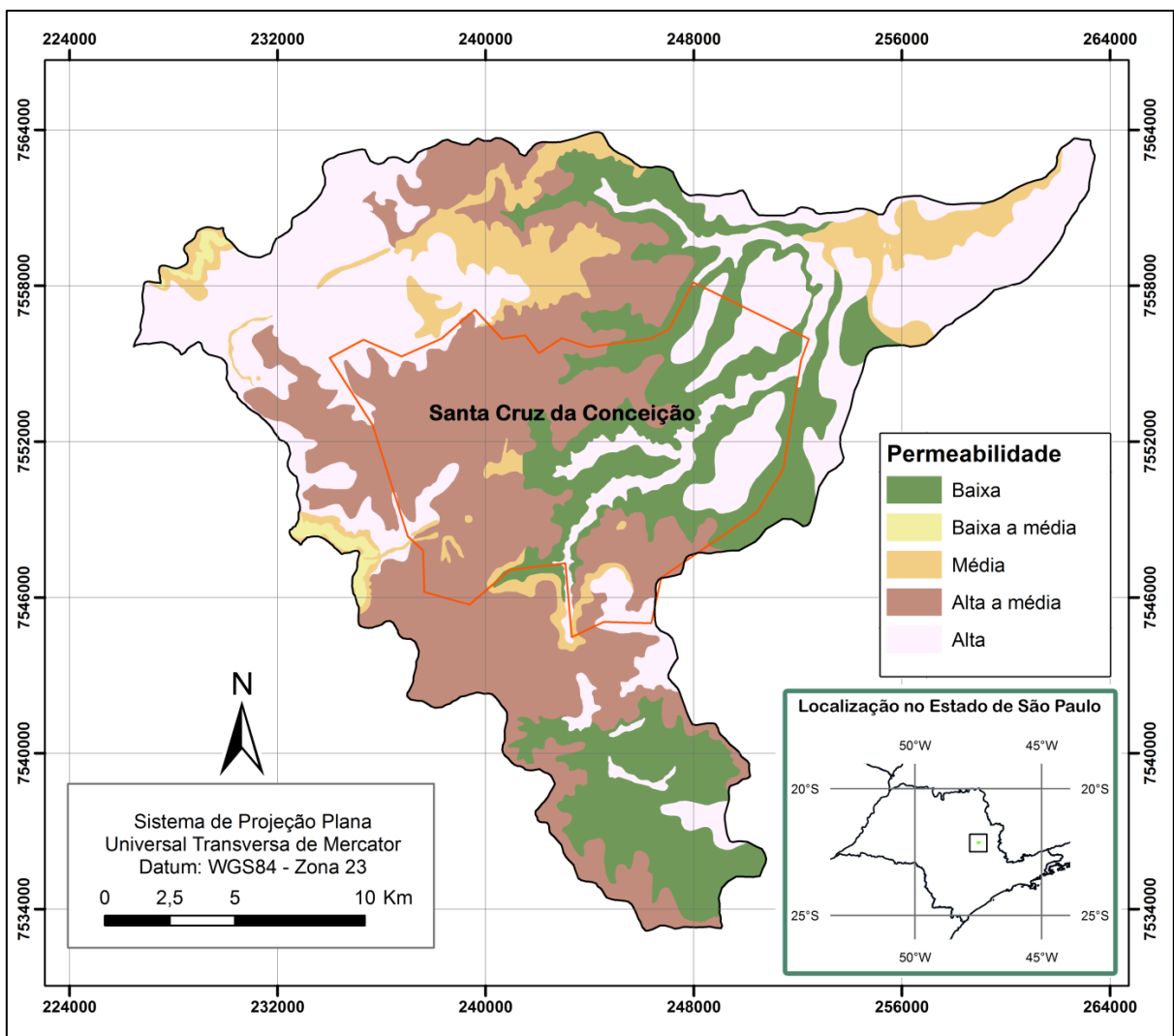
Para Reis et al. (2014), os tipos de solos associados ao relevo e litologia local podem ser delimitados de acordo com o mapa exibido na figura 39. De acordo com os autores, a porção oeste do município é ocupada por solos arenosos. Na região leste e sul ocorrem colúvios e coberturas com solos lateríticos. No centro e a leste encontram-se solos argilosos. Na planície aluvial estão concentradas areias, cascalhos e argilas, e nos setores centro-oeste, sudoeste e sul encontram-se depósitos de solos transportados (tálus e colúvios).

Figura 39. Unidades de compartimentação fisiográfica. Legenda com informações pedológicas para algumas unidades fisiográficas do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição baseada em mapeamento elaborado por Reis et al. (2014). Escala de mapeamento 1:50.000.



Reis et al. (2014) também geraram informações sobre a permeabilidade da Bacia do Ribeirão do Roque (Figura 40). Em Santa Cruz da Conceição, as regiões impermeáveis ocorrem na porção central e no lado leste do município. A região oeste é dominada por terrenos de alta à média permeabilidade. Os terrenos da planície aluvial possuem alta permeabilidade, assim como os terrenos com coberturas cenozoicas, a leste e ao sul do município. No centro-oeste, oeste e ao sul encontram-se pequenas porções com permeabilidade média.

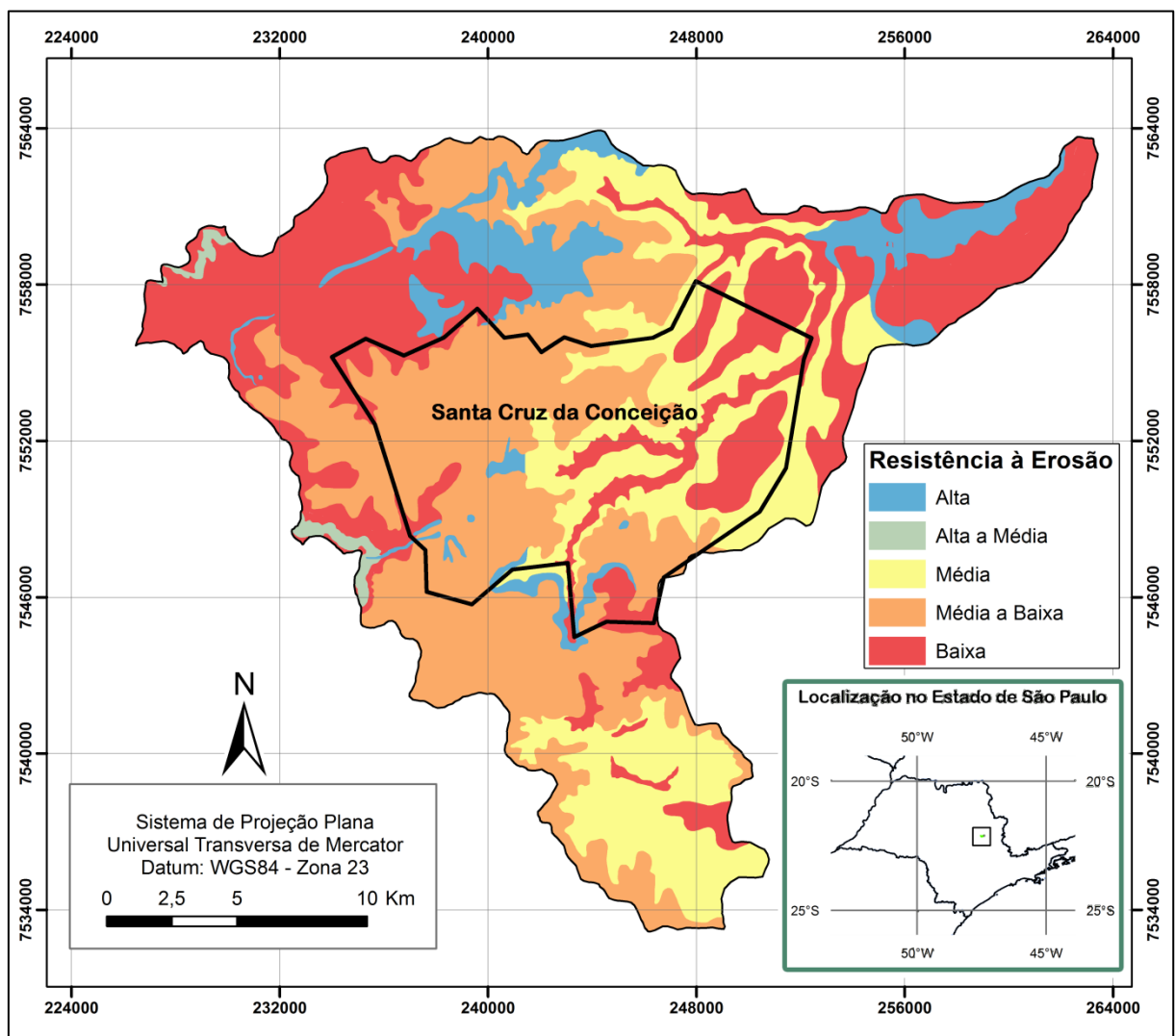
Figura 40. Mapa de Permeabilidade de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição baseada no mapeamento elaborado por Reis et al. (2014).



Reis et al. (2014) apresentaram, ainda, os diferentes níveis de resistência à erosão ao longo da área e os processos de dinâmica superficial. Assim, observa-se

que a porção oeste do município apresenta média à baixa resistência à erosão. Os locais de planície aluvial e com coberturas cenozoicas (a leste) apresentam baixa resistência à erosão. No centro e a leste ocorrem regiões com média resistência à erosão. Áreas pequenas e esparsas no centro-oeste, sudoeste e sul apresentam alta resistência à erosão (Figura 41).

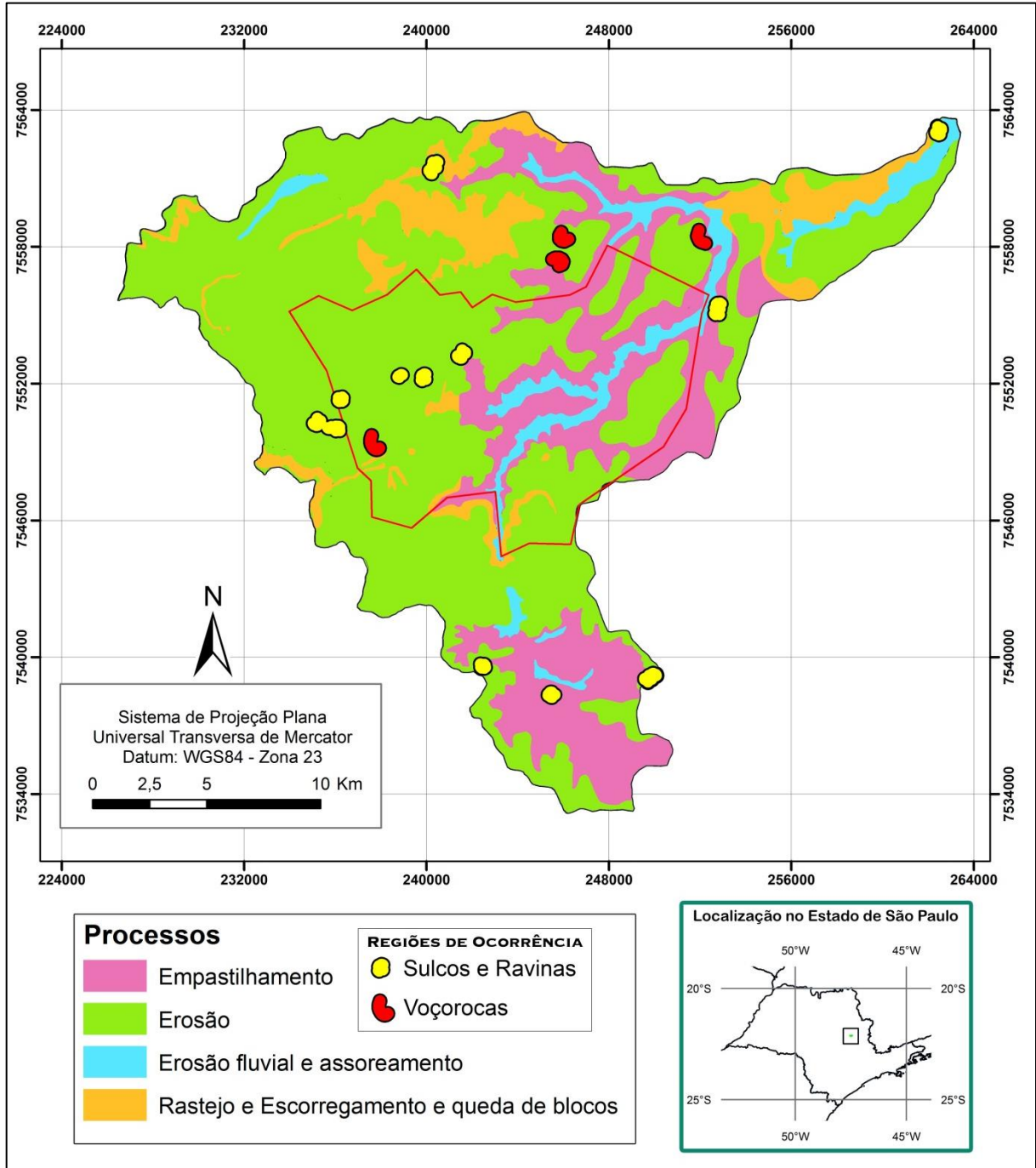
Figura 41. Mapa de resistência à erosão da região do município de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição baseada no mapeamento elaborado por Reis et al. (2014).



Em relação aos processos de dinâmica superficial, no município ocorrem processos erosivos, em terrenos mais arenosos, e empastilhamento em terrenos mais argilosos e siltosos. Na planície aluvial ocorre erosão fluvial e assoreamento. Destacam-se a existência de voçorocas, sulcos e ravinas na porção oeste da área

(Figura 42: as indicações em vermelho e amarelo indicam apenas a região de ocorrência, não correspondendo à dimensão real destes elementos).

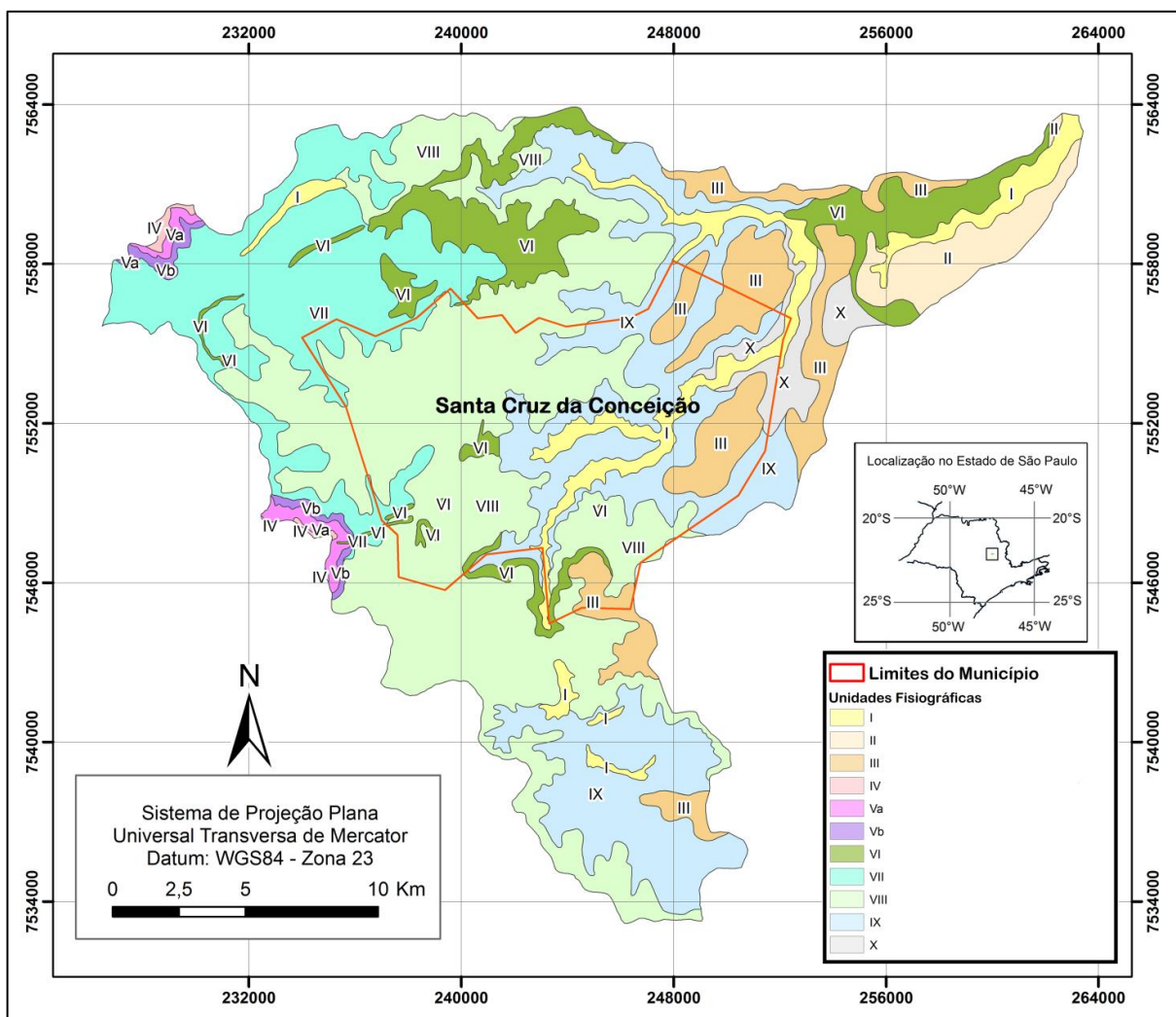
Figura 42. Mapa de processos de dinâmica superficial ocorrentes no município de Santa Cruz da Conceição (SP). Composição baseada no mapeamento elaborado por Reis et al. (2014).



4.1.14. Compartimentação Fisiográfica

Todo este subcapítulo é resultado da compartimentação fisiográfica que foi realizada por Reis et al. (2014). O resultado da compartimentação e descrições realizadas pelos autores são apresentados na figura a seguir (Figura 43), acompanhada do quadro descritivo referente aos compartimentos delimitados em toda a bacia (Quadro 16). As figuras 44 a 50 apresentam a caracterização geológica-geotécnica de cada unidade fisiográfica encontrada no município por aqueles autores (Figuras 43 a 49). Cabe salientar que na área de estudo focalizada pelo presente trabalho ocorrem as unidades fisiográficas I, III, VI, VII, VIII, IX e X.

Figura 43. Mapa de Compartimentação Fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque. (Reis et al., 2014).



Quadro 16. Caracterização geológica-geotécnica das unidades fisiográficas da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque. *In* Reis e Cerri (2014). Em destaque as unidades que ocorrem no município de Santa Cruz da Conceição.

Unidade de análise	Subsuperfície (Geologia)	Denominação (Litologia/materiais e Relevo)	Unidades de Compartimentação Fisiográfica														
			Fotoanálise						Fotointerpretação (Propriedades e atributos geotécnicos interpretados)						Observações de campo		
			Drenagem e Relevo	Formas de Relevo				Estrutura	Feições Particulares	Permeabilidade	Espessura do Manto de Alteração	Resistência à erosão natural (dureza)	Potencialidade a movimentos gravitacionais	Composição e Estrutura	Afloramentos e Blocos Rochosos	Processos geológicos	Vegetação e Uso do solo
Densidade Textural	Amplitude Local	Declividade	Formas de Vale e Topo	Formas de encostas	Tropia												
I	Planície Aluvial	Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada	Meandros e depósitos de assoreamento	Alta	Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão fluvial e assoreamento	Mata ciliar
II	Terraços Fluviais	Materiais predominantemente arenosos em terraço fluvial	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada		Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
III	Coberturas cenozóicas	Colúvios e coberturas com solos lateríticos em relevos colinosos	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Convexas	Não orientada		Alta	Alta a Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IV	Arenitos da Fm. Itaqueri	Arenitos em topos de Cuestas	Baixa	Baixa a média	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Côncavas	Não orientada	Voçorocas	Média	Média	Baixa	Baixa a média	Homogênea	Ausentes	Erosão	Agricultura
Va	Arenitos da Fm. Botucatu e Basaltos da Fm. Serra Geral	Arenitos e Basaltos em relevos de escarpas	Média a alta	Alta	Alta	Vales fechados	Retilíneas	Não Orientada	Escorregamento blocos	Baixa a média	Baixa	Alta a Média	Alta	Homogênea	Presentes	Rastejo, Escorregamento e queda de blocos	Vegetação Nativa
Vb	Depósito de Talus	Material inconsolidado proveniente de intemperismo e ação da gravidade no sopé de Cuestas	Média	Média	Baixa	Vales fechados e topos arredondados	Convexas	Não orientado	Ravinas	Média	Média a Baixa	Baixa	Alta a Média	Homogênea	Raros	Erosão	Pasto e Cana
VI	Diabásio – diques e soleiras correlatas a Fm. Serra Geral	Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes Talus e colúvios associados	Média	Alta	Alta	Vales Abertos e topos angulosos a arredondados	Côncavas e retilíneas	Orientada (diques)	Cristas orientadas Escorregamento	Média	Baixa a alta	Alta	Alta a Média	Homogênea a Heterogênea	Presentes	Rastejo e Escorregamento e queda de blocos	Pasto
VII	Arenitos da Fm. Botucatu	Arenitos e solos arenosos em relevo de encostas suaves	Baixa	Baixa	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Convexas	Não orientada	Ravinas e Voçorocas	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes (raros)	Erosão	Pasto e Cana
VIII	Arenitos da Fm. Pirambóia	Arenitos e solos arenosos em relevo de meia encosta	Média	Média	Baixa a Média	Vales Fechados e topos arredondados	Côncavas e retilíneas	Não orientada	Ravinas	Alta a média	Média a Baixa	Média a Baixa	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IX	Siltitos e argilitos da Fm. Corumbataí	Siltitos e argilitos em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada	-	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana
X	Folhelhos, calcários e sílex da Fm Irati e siltitos e arenitos da Fm Tatui	Folhelhos, calcários e sílex da Fm Irati e siltitos e arenitos da Fm Tatui em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada		Baixa	Baixa a média	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana

Figura 44. Caracterização da unidade fisiográfica I. In Reis et al. (2014).

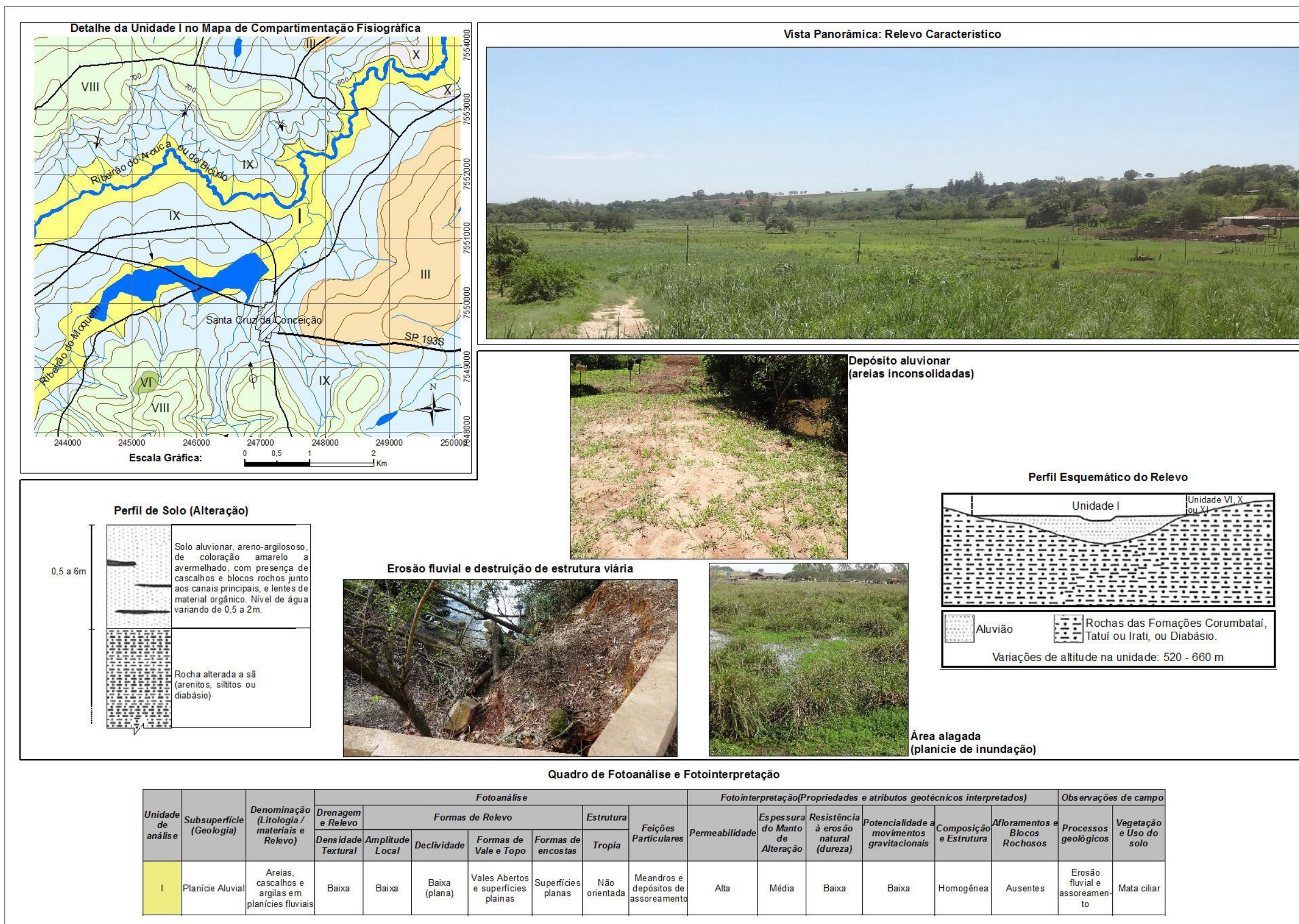


Figura 45. Caracterização da unidade fisiográfica III. In Reis et al. (2014).

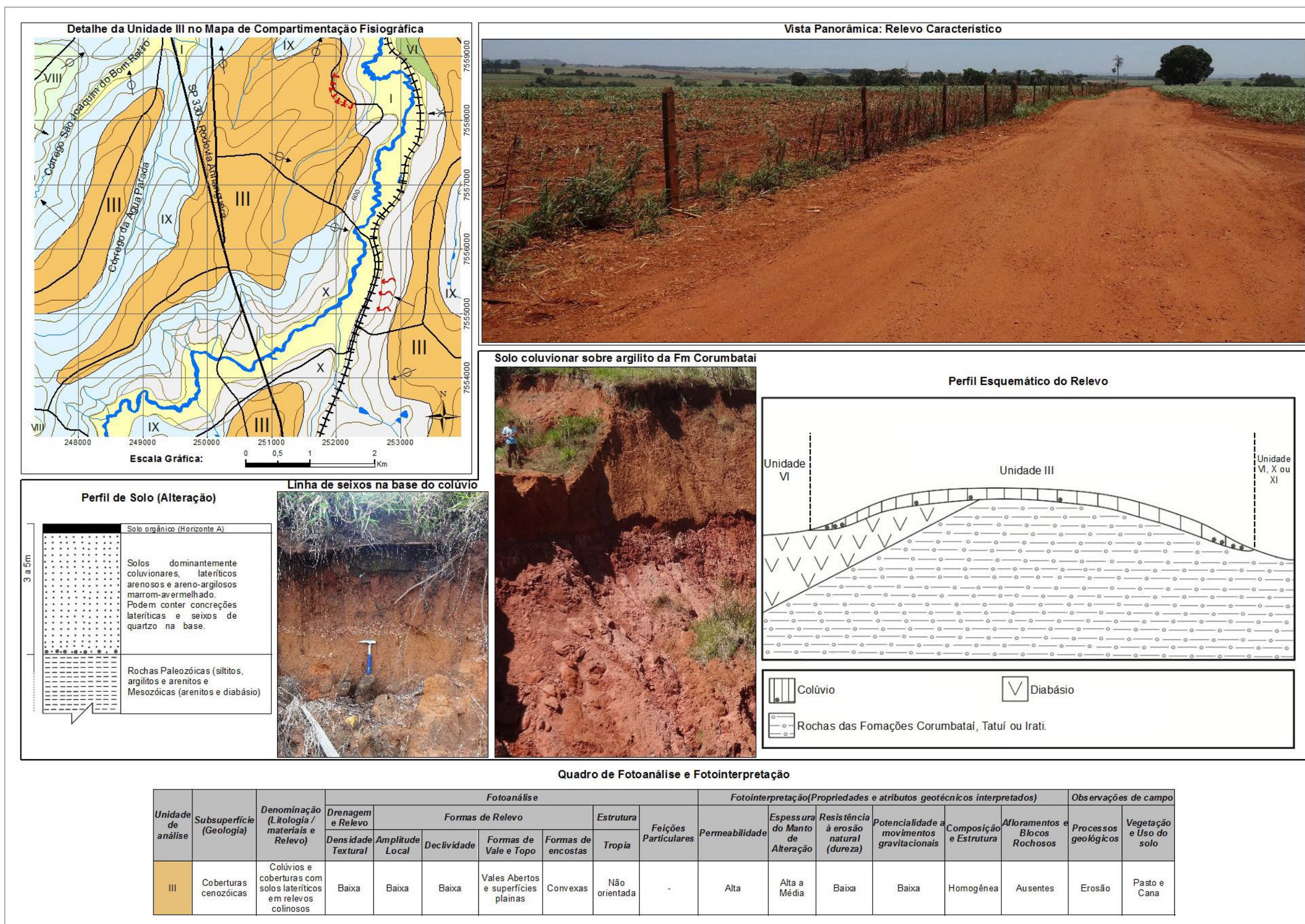


Figura 46. Caracterização da unidade fisiográfica VI. In Reis et al. (2014).

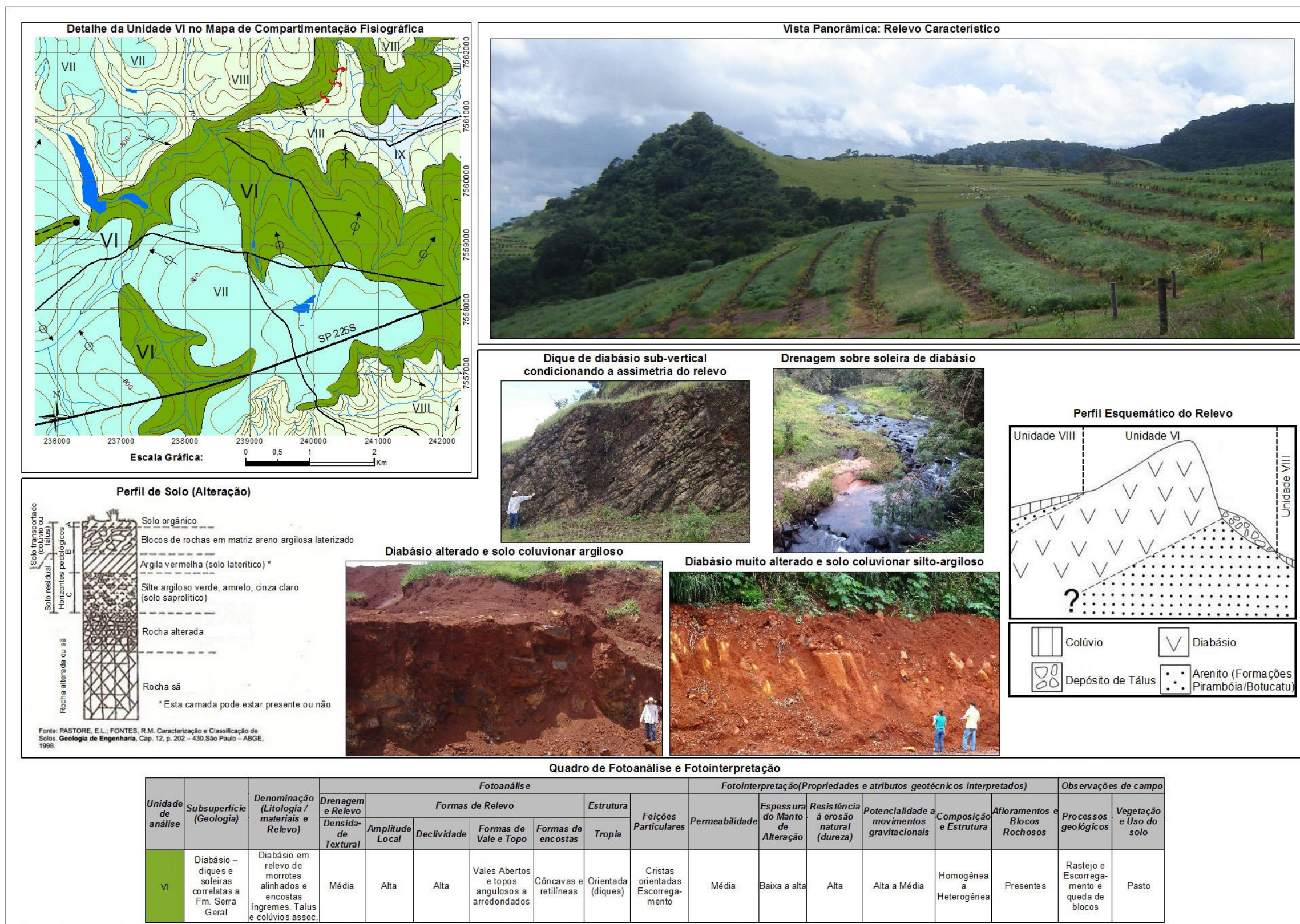


Figura 47. Caracterização da unidade fisiográfica VII. In Reis et al. (2014).

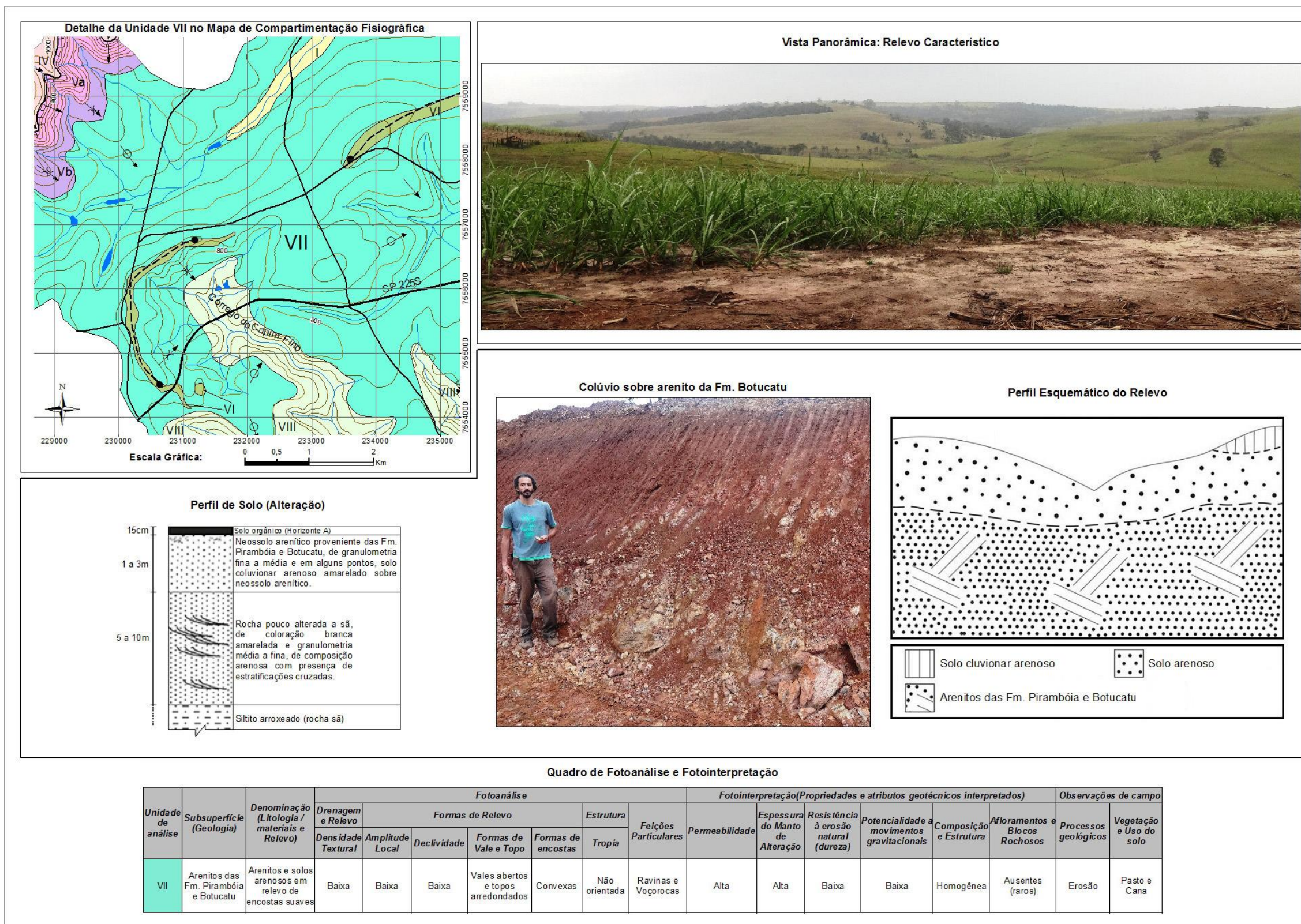


Figura 48. Caracterização da unidade fisiográfica VIII. In Reis et al. (2014).

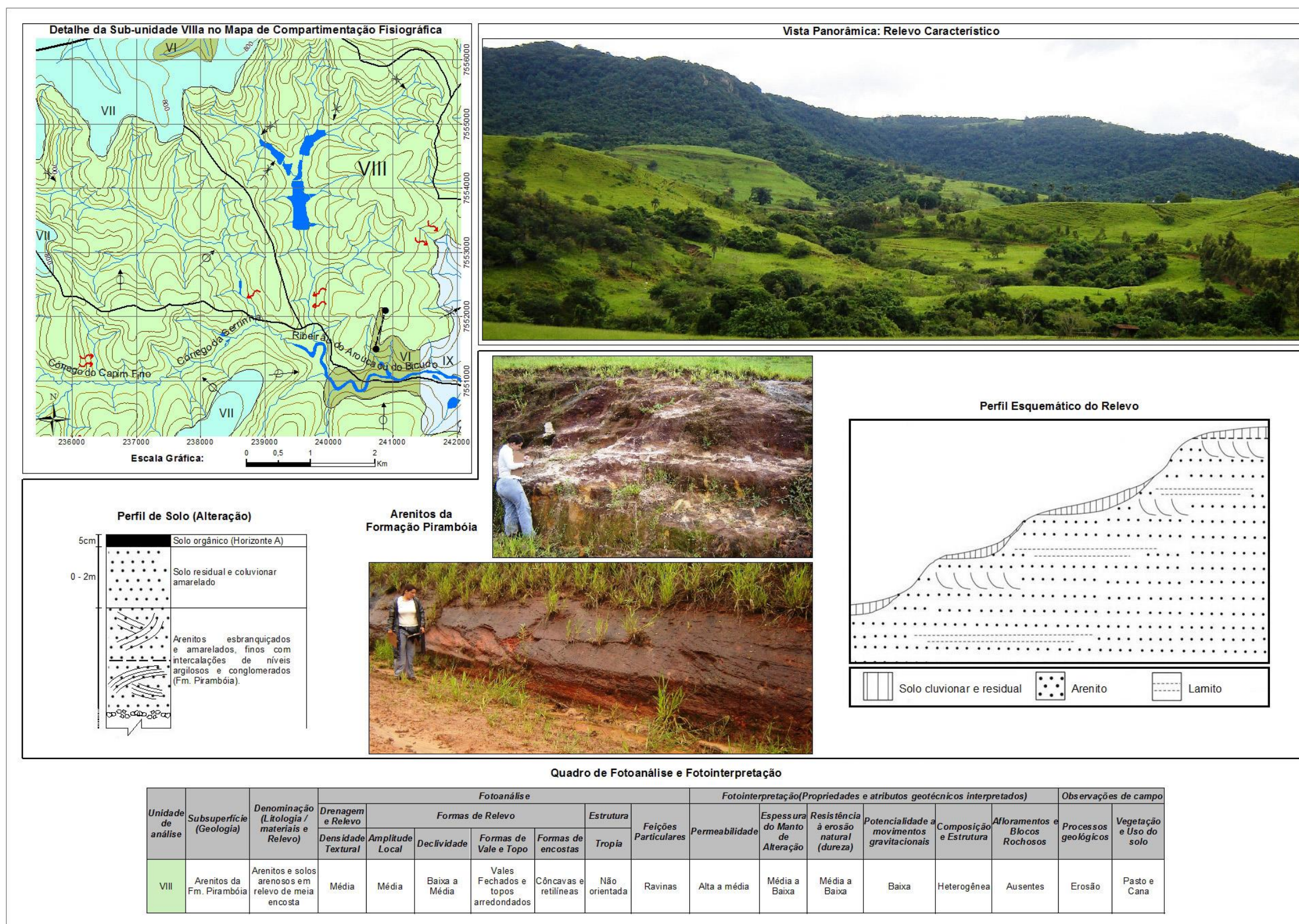


Figura 49. Caracterização da unidade fisiográfica IX. In Reis et al. (2014).

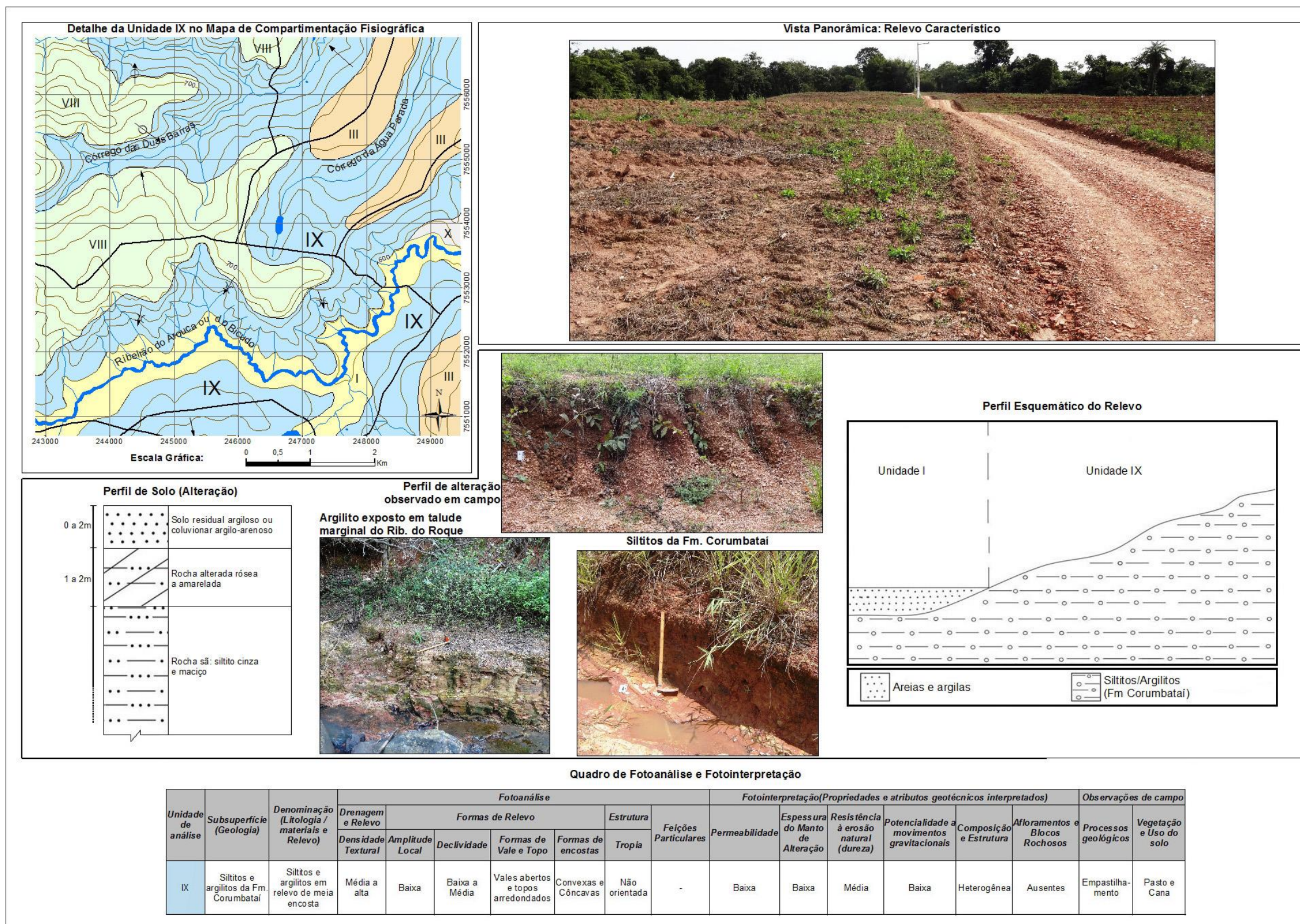
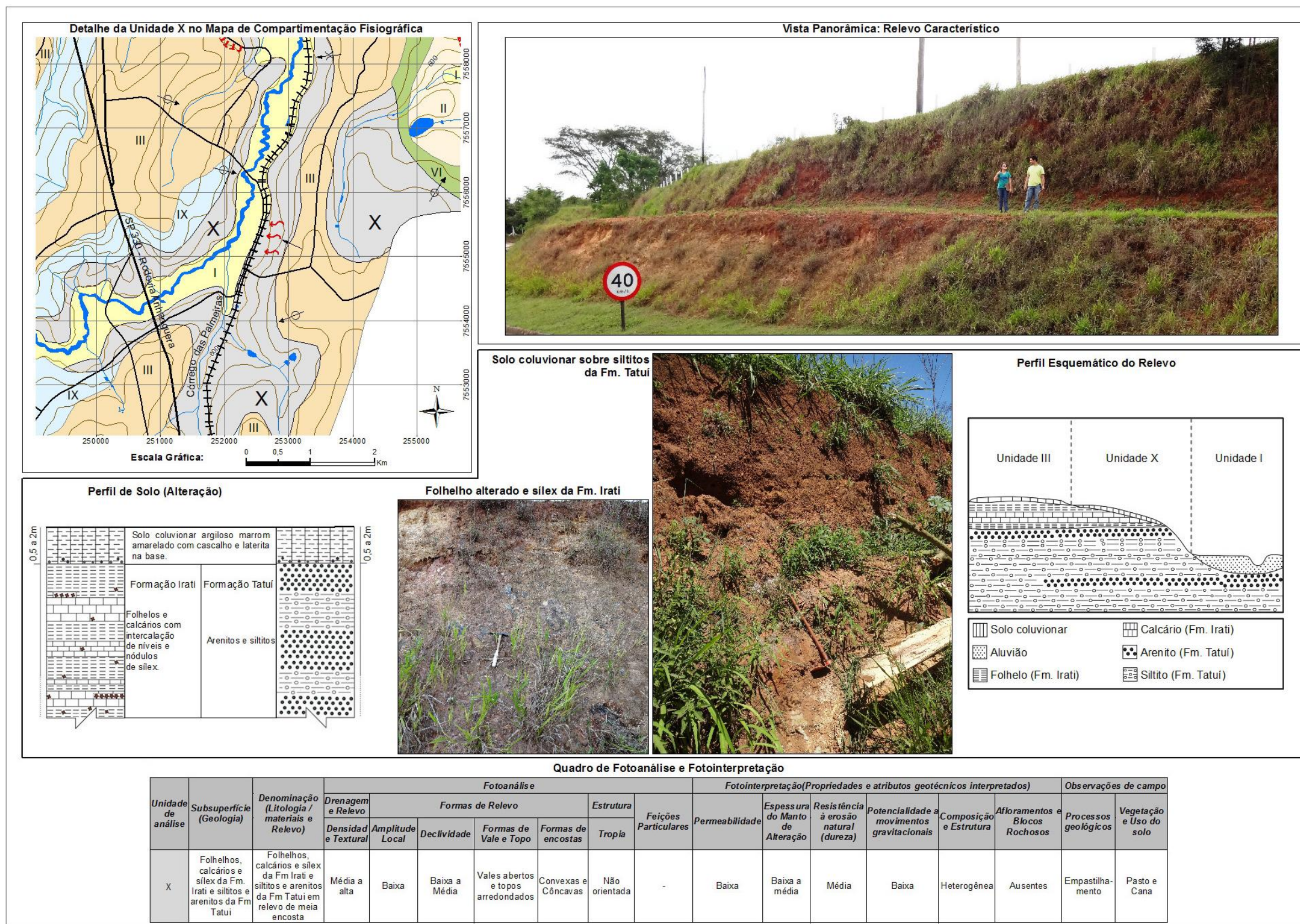


Figura 50. Caracterização da unidade fisiográfica X. In Reis et al. (2014).



5. RESULTADOS FINAIS E DISCUSSÕES

5.1. Avaliação do Potencial de Aptidão das Áreas

A partir do levantamento bibliográfico e da caracterização da área de estudo, foi possível estabelecer os principais critérios norteadores da pesquisa e da análise multicriterial.

Na unidade fisiográfica I, representadas pelas planícies aluviais, com litologias de areias, cascalhos e argilas, a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas foi considerada como alta, devido à alta permeabilidade do terreno. Esta unidade também apresenta baixa resistência à erosão natural e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais.

A unidade fisiográfica III, que corresponde a colúvios e coberturas com solos lateríticos em relevos colinosos sobre litologias cenozoicas, possui alta permeabilidade, baixa resistência à erosão natural e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais de massa.

A unidade fisiográfica VI, por sua vez, representada por diques e soleiras de diabásio correlatos da Formação Serra Geral em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes possui média permeabilidade, alta resistência à erosão natural e alta à média potencialidade a movimentos gravitacionais. Esta unidade tem baixa ocorrência na área de estudo.

A unidade fisiográfica VII, indicada por arenitos da Formação Botucatu em relevo de encostas suaves apresenta alta permeabilidade, baixa resistência à erosão natural e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais. Esta unidade também possui baixa ocorrência na área de estudo.

A unidade fisiográfica VIII ocorre em relevos de meia encosta sobre arenitos da Formação Piramboia e possui permeabilidade de alta à média, resistência à erosão natural que varia de média à baixa e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais. Esta unidade possui uma grande ocorrência na área de estudo.

A unidade fisiográfica IX é representada por siltitos e argilitos da Formação Corumbataí em relevos de meia encosta, apresentando baixa permeabilidade, média resistência à erosão natural e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais.

Por fim, a unidade fisiográfica X, indicada por folhelhos, calcários e sílex da Formação Irati, além de siltitos e arenitos da Formação Tatuí, cujos modelados são relevos de meia encosta, apresenta baixa permeabilidade, média resistência à erosão natural e baixa potencialidade a movimentos gravitacionais. Esta unidade tem baixa ocorrência na área de estudo.

O parâmetro “declividade” foi considerado como critério norteador por Levine (1996) e Zuquette et al. (1994), os quais estabeleceram diretrizes para a implantação de aterros sanitários em valas e aterros sanitários em camadas. Assim, a declividade foi subdividida em classes variando de 0 a 5° (ideais para aterros em valas), e 5 a 17° (ideais para aterros em camadas). A avaliação da declividade serve para orientar e evitar a ocorrência de processos geodinâmicos, tais como erosões e movimentos gravitacionais de massa (BROLLO, 2001).

O mapa temático que contém as informações das Áreas de Preservação Permanente (APPs) indica as regiões que devem ter prioridade de conservação, para que os corpos d’água e os recursos bióticos sejam resguardados. Portanto, estes locais devem ser evitados na implantação de aterros sanitários (BRASIL, 2012). Também foi levada em consideração a norma NBR 15849 da ABNT, que indica uma margem de distância de 200 metros de qualquer corpo hídrico (ABNT, 2010).

Outro quesito considerado no presente estudo foi a presença ou ausência de fragmentos de vegetação no município. Esta informação é relevante, pois indica os locais com maior quantidade de recursos biológicos, que são normalmente associados às áreas de preservação permanente e às reservas legais das propriedades rurais. Desta forma, a vulnerabilidade relacionada aos impactos nos recursos bióticos é alta quando há presença de fragmentos, e, portanto, estes locais devem ser evitados para a implantação de aterros sanitários.

Quanto às áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRA), destaca-se a existência no município do núcleo da AGRA de um aeródromo civil da cidade de Pirassununga (SP). Nestes locais deve ser evitada a proliferação de aves, sendo necessária cautela na operação de empreendimentos que possam atrair esses animais, como os aterros sanitários (BRASIL, 2011). Próxima ao município se localiza um núcleo de AGRA considerado prioritário, referente ao um aeródromo militar, possuindo alto nível de exigência relacionado a não presença de aves como observado no presente estudo. Para a presente pesquisa considerou-se que a área

do núcleo da AGRA presente no município possui menor potencialidade que as demais áreas levando-se em conta este critério. Desta maneira, os núcleos de aeródromos civis apresenta fator de redução de potencialidade. Áreas com aptidão máxima (valores 6) quando intersectadas por núcleos de aeródromos civis passam a possuir aptidão nota 5.

Em relação às áreas urbana e rural, é indicado que o aterro sanitário se localize distante dos núcleos populacionais (ABNT, 2010; CUNHA; CONSONI, 1995; IPT, 1995; BROLLO, 2001; IG, 1999; PROSKE et al.; 2005; ERSOY; BULUT, 2008). Estes locais devem ser evitados, pois podem trazer desconforto à população, tanto na fase de implantação quanto a de operação (CUNHA; CONSONI, 1995). Pela mesma razão as áreas destinadas à expansão urbana devem ser evitadas.

Quanto às diretrizes do Plano Diretor, é importante que as áreas de interesse ambiental, turístico e de paisagem edificada sejam evitadas para a implantação de aterros sanitários, uma vez que já apresentam objetivos definidos em relação ao seu uso. Neste contexto, as áreas destinadas ao uso industrial também devem ser evitadas, por tratarem de locais com grande valor imobiliário (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

Em relação à implantação de incineradores, no que tange a presença de Áreas de Preservação Permanente e fragmentos de vegetação, a instalação desses empreendimentos nestes locais deve ser evitada, para evitar a supressão de recursos florestais e manter a proteção dos corpos d'água (BRASIL, 2012).

Quanto à presença destas instalações próximas a aglomerações humanas, a resolução Conama n. 216 determina que os incineradores não devem ser instalados em áreas residenciais e complexos hospitalares. Desta maneira, a área urbana e a área destinada à expansão urbana devem ser evitadas para este tipo de empreendimento. Estas instalações podem também ser implantadas nos parques industriais do município, desde que as normas específicas para emissão de poluentes sejam atendidas (BRASIL, 2002). Ademais, considerou-se parte dos apontamentos de Ferretti e Pomarico (2012), que estabelecem uma distância mínima para a instalação de incineradores de 600 metros de núcleos populacionais. Apesar da lei brasileira não fazer referência a esta questão, o presente trabalho considerou que estas áreas deveriam ser evitadas conforme indicam os respectivos autores. Por fim, foi avaliada a direção dos ventos em função da dispersão de poluentes.

Em seguida, a partir do subsídio do Plano Diretor do município, foi considerado que as áreas de interesse ambiental, turístico e de paisagem edificada deveriam ser evitadas para a instalação de incineradores. As áreas industriais são prioritárias para a instalação de incineradores e demais instalações que podem compor as CTRSs, por se caracterizarem como empreendimentos de cunho industrial (SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO, 2007).

A partir dos dados levantados na fundamentação teórica, no banco de dados georreferenciado e dos diferentes mapas temáticos elaborados, foi realizada uma análise prévia destas informações, que elucidou a potencialidade de aptidão das diversas classes presentes nos mapas temáticos frente aos diferentes empreendimentos. Esta análise descritiva subsidiou a realização da análise multicriterial subsequente. O quadro 17 exhibe os resultados da análise, a qual buscou-se avaliar aspectos de vulnerabilidade ambiental e das necessidades e imposições técnicas de cada tipo de empreendimento, resultando em uma classificação da potencialidade de aptidão das áreas frente a cada empreendimento e aspecto ambiental avaliado. Ademais, são apresentados os valores utilizados no processo de análise multicriterial realizado no *software* Esri ArcMap 10.1 (Quadro 17).

Quadro 17. Potencialidade de aptidão das classes frente aos diferentes empreendimentos possivelmente existentes na CTRS.

Aterro Sanitário x Compartimentação Fisiográfica				
Classes	Aspecto: contaminação de águas subterrâneas (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: risco de erosão (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: movimentos gravitacionais (Potencialidade de Aptidão)	Resultado Geral (Valor numérico para Análise Multicriterial)
Unidade I	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade III	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VI	Média 6	Alta 8	Baixa à Média 4	4
Unidade VII	Baixa 3	Baixa 3	Alta 8	3
Unidade VIII	Baixa a Média 4	Média a Alta 7	Alta 8	4
Unidade IX	Alta 8	Média 6	Alta 8	6
Unidade X	Alta 8	Média 6	Alta 8	6
Aterro Sanitário x Mapa de Declividade				
Classes	Aspecto: Aterro em Vala (Potencialidade de Aptidão)	Aspecto: Aterro em Camadas (Potencialidade de Aptidão)	(Valor numérico para Análise Multicritério)	
0 – 5°	Neutro	Inapta	Neutro = 0	
5° - 17°	Inapto	Neutro	Neutro = 0	
Maior que 17°	Inapto	Inapto	NoData	

Continuação do quadro 17

Aterro Sanitário x Áreas de Preservação Permanente / NBR 15849 ABNT – Distância Mínima de 200m de Coleções Hídricas		
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)
Presença de APP	Inapta	NoData
Ausência de APP	Neutro	Neutro = 0
Distância Mínima de 200m	Inapta	NoData
Aterro Sanitário x Fragmentos de Vegetação		
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de Redução (Análise Multicritério)
Presença de Fragmentos	Inapta	NoData
Ausência de Fragmentos	Neutro	Neutro = 0
Aterro Sanitário x Área de Gerenciamento de Risco Aviário		
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de redução
Núcleo da Agra – Áreas Prioritárias (militares)	Baixa	-2
Núcleo da Agra – Áreas Comuns	Baixa	-1
Área externa ao Núcleo da AGRA	Neutro	Neutro = 0
Aterro Sanitário x Área Urbana/Área de Expansão Urbana/Rural		
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)
Área Urbana	Inapta	NoData
Área Rural	Neutro	Neutro = 0
Área de Expansão Urbana	Inapta	NoData
Aterro Sanitário x Plano Diretor		
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)
Áreas de Interesse Ambiental	Área inapta	NoData
Áreas de interesse Turístico	Área inapta	NoData
Áreas de Paisagem Edificada	Área inapta	NoData
Áreas de Interesse Industrial	Área Inapta	NoData
Demais áreas	Neutro	Neutro = 0
Incinerador x Áreas de Preservação Permanente		
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)
Presença de APP	Inapta	NoData
Ausência de APP	Neutro	Neutro=0
Incinerador x Fragmentos de Vegetação		
Classes	Potencialidade de Aptidão	Fator de Redução
Presença de Fragmentos	Inapta	NoData
Ausência de Fragmentos	Neutro	Neutro = 0
Incinerador x Área de Expansão Urbana\Atual\Entorno de 600 metros		
Classes	Potencialidade de Aptidão	
Área Urbana Atual	Inapta	NoData
Área de Expansão Urbana	Inapta	NoData
Entorno de 600 metros de largura	Média	Média = 5
Demais Áreas	Alta	Alta = 10
Incinerador x Plano Diretor		
Classes	Potencialidade de Aptidão	(Valor numérico para Análise Multicritério)
Áreas de Interesse Ambiental	Inapta	NoData
Áreas de interesse Turístico	Inapta	NoData
Áreas de Paisagem Edificada	Inapta	NoData
Áreas destinadas a Indústrias	Alta	10
Demais Áreas	Média	5
Incinerador X Direção Principal dos Ventos e Uso e Ocupação do Solo		
Critério a ser avaliado após análise multicritério preliminar		

5.2. Análise Multicriterial e Geração de Mapas Finais

O processo de análise multicriterial com a posterior avaliação de uso e cobertura dos solos e a avaliação da direção principal dos ventos resultou em 5 mapas temáticos, conforme mostram as figuras 51 a 55:

- O mapa de potencial de aptidão para implantação de aterros em camadas (Figura 51) explicita que algumas áreas são adequadas para a implantação de aterros em camadas. As áreas estão indicadas no mapa em cor azul de diferentes tons escuros, com notas de aptidão 5 e 6, concentrando-se na região nordeste do município. São sugeridos dois locais preferenciais para este tipo de empreendimento.
- O mapa de potencial de aptidão para implantação de aterros em valas (Figura 52) evidencia que existem mais opções de áreas para implantação de aterros em valas que áreas disponíveis para aterros em camadas exibidas no mapa da Figura 51. As áreas de maior aptidão (em tons escuros) se localizam na porção central, leste e nordeste do município. Foi sugerido um local preferencial para a implantação deste empreendimento.
- O mapa de potencial de aptidão para implantação de Incineradores exibido na figura 53 mostra que as áreas de maior aptidão com valores iguais a 10, se localizam na regiões destinadas a implantação de indústrias delimitadas pelo plano diretor municipal de 2007. Existem muitas áreas favoráveis a implantação de incineradores, com notas de aptidão iguais a 7,5, porém estas se localizam fora das áreas destinadas as indústrias expressa no Plano Diretor. O mapa da figura 54 deriva do mapa da figura 53, mas é acrescido da informação das direções dos ventos e da localização dos aglomerados populacionais regionais num raio de 25 km. As regiões destacada em rosa, ao extremo leste do município, são as áreas de maior aptidão (nota 10) para a localização dos incineradores, que se situam em área destinadas às indústrias e apresentam baixo potencial de dispersão de poluentes em direção aos núcleos populacionais. A área destacada em amarelo, contígua àquela sugerida para o aterro em camada, na região nordeste, é uma segunda sugestão para a locação da CTRS e o referido incinerador. É área com potencial de aptidão igual a 7,5 e apresenta baixo potencial de dispersão de poluentes em direção aos núcleos populacionais próximos. Ambas as áreas (rosa e amarela) apresentam bom

acesso viário, sendo que a área em amarelo, embora não contígua, está localizada bem próxima a rodovia Anhanguera, apresentando um menor valor comercial.

- A figura 55 exibe a sugestão para os locais preferenciais para implantação de aterros (em vala e em camada) e dos locais para a implantação da central de tratamento de resíduos sólidos, incluindo o incinerador para o município de Santa Cruz da Conceição. O mapa mostra detalhes de uso e ocupação através da imagem de satélite referente ao ano de 2015. São sugeridas duas áreas para implantação de aterros em camadas (a nordeste) e uma área para aterros em valas, além de se exibir os locais preferenciais para a implantação da CTRS. As áreas sugeridas para a implantação dos aterros e da CTRS estavam ocupadas em 2015 por plantações de cana-de-açúcar e plantações de madeiras para reflorestamento.

Os resultados expressos pelas cinco figuras (Figuras 51, 52, 53, 54 e 55) foram considerados satisfatórios ao cumprimento dos objetivos do trabalho e demonstram que a metodologia adotada favoreceu e auxiliou o discernimento para a escolha das melhores áreas para a implantação dos aterros e da CTRS.

Em relação aos aterros sanitários, a metodologia adotada permitiu a escolha de áreas com as seguintes características: baixa permeabilidade, alta estabilidade geotécnica, média resistência a erosão, declividades adequadas aos tipos de aterros em vala e em camada, áreas com ausência de fragmentos de vegetação e distantes em mais de 200 metros de corpos hídricos; além disso, tais áreas são dotadas de infraestrutura viária e estão distantes em mais de 500 metros de aglomerados populacionais, sendo ocupadas atualmente por plantações de cana-de-açúcar. Ademais, respeitam a legislação municipal representada pelo plano diretor municipal. Os locais sugeridos apresentam interferência com núcleos de áreas de gerenciamento de risco aviário (AGRAs) não prioritárias relacionada ao aeródromo Civil de Pirassununga. Assim sendo, é recomendado, caso se implante aterros sanitários, que sejam seguidas as normas técnicas de operação e a legislação expressa pela política nacional de resíduos sólidos. Assim, será evitada qualquer possibilidade de atração de aves e ficará resguardada a segurança da aviação civil e militar presentes na região.

Levando-se em consideração que a gestão dos resíduos no município venha a atender rigorosamente a legislação brasileira, destaca-se que existe baixíssimo potencial de atração de aves uma vez que apenas rejeitos iriam para os referidos aterros. Resíduos orgânicos que apresentam alta potencialidade de atração não

devem ser destinados ao aterro sanitário e sim devem ser tratados em biodigestores.

A metodologia empregada para a identificação de locais adequados à implantação de incineradores e os demais possíveis módulos da CTRS se mostrou também adequada. O mapa de potencialidade possibilitou bom discernimento entre as áreas do município e favoreceu a escolha das áreas com as características mais adequadas. Uma das áreas sugeridas para a implantação da CTRS é localizada em área destinada à implantação de indústrias. Outra se localiza na zona rural do município. Localizam-se externamente às áreas de preservação permanente e não apresenta fragmentos de vegetação natural. Ficam em áreas de bom acesso rodoviário e distam em mais de 600 metros de núcleos populacionais. Em etapa posterior, com o auxílio do diagrama com a direção e frequência dos ventos foi possível avaliar a probabilidade de ocasionar carreamento de poluição atmosférica em direções frontais aos aglomerados humanos regionais (raio de 25 km do centro de Santa Cruz da Conceição). As áreas sugeridas em rosa evitam em mais de 64% os ventos frontais em direções aos núcleos populacionais humanos regionais. Apenas 12% dos ventos costumam se direcionar para Leme, e 24% se direcionam para Santa Cruz da Conceição, atingindo a cidade em porções distintas, dependendo da direção preferencial do vento momentâneo. Caso ocorra a instalação de CTRS no local, é recomendado que o incinerador fique a 60 metros distante da rodovia. Destaca-se também que a área indicada se localiza a mais de 3,5 km de distância da área urbana de Santa Cruz da Conceição, a mais de 4,5 km de Leme e a mais de 8 km de Pirassununga. Já as áreas sugeridas em amarelo evitam em mais de 67% dos ventos frontais em direção aos núcleos populacionais próximos (Pirassununga a 4,5 km, Leme a 10,5 km e Santa Cruz da Conceição a 5 km). Destaca-se que as áreas com menor permeabilidade são mais favoráveis à implantação da CTRS uma vez que podem favorecer a proteção de recursos hídricos contra contaminação por efluentes oriundos do empreendimento. Caso a CTRS venha a ser implantada deve-se atentar a esta observação.

Destaca-se que a metodologia adotada para aterros e incineradores optou por tornar inaptas as áreas com presença de fragmentos de vegetação naturais, uma vez que as áreas de reserva legais estão com níveis de preservação inadequados. Desta forma a metodologia adotada visa proteger os recursos biológicos naturais uma vez que o referido município se encontra em déficit legal quanto a esta questão.

Figura 51. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Aterro em Camadas no município de Santa Cruz da Conceição (SP).

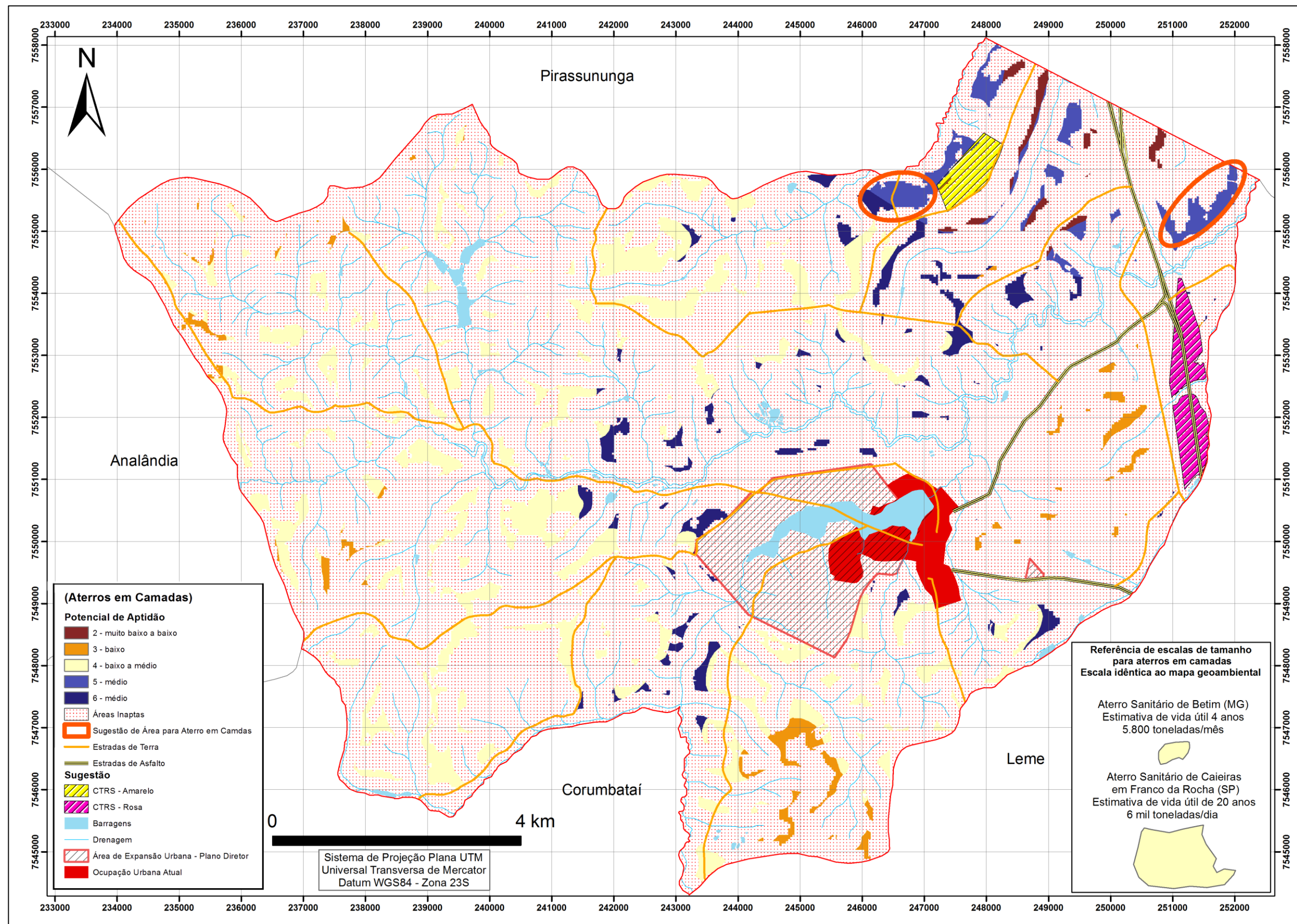


Figura 52. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Aterro em Valas no município de Santa Cruz da Conceição (SP).

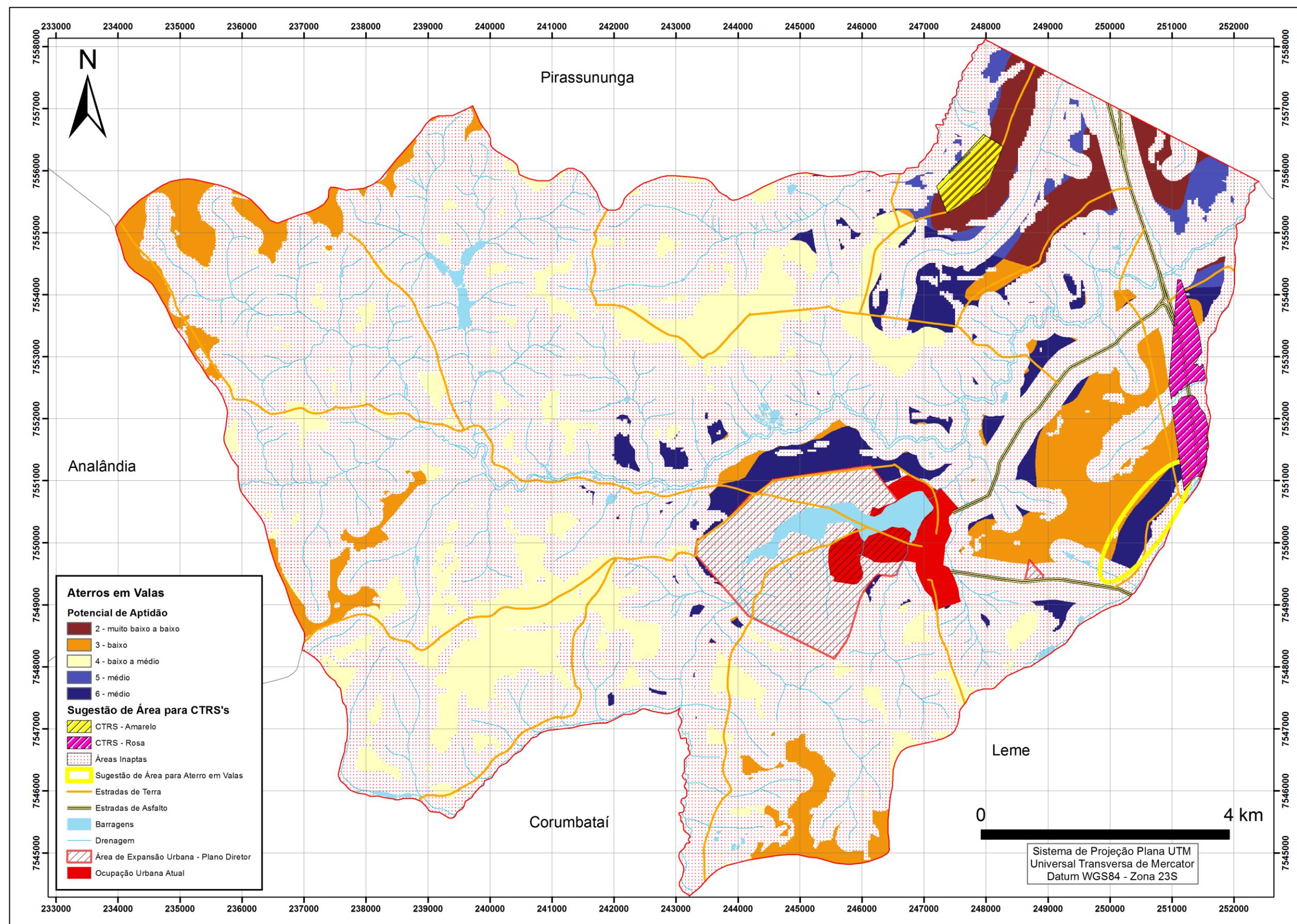


Figura 53. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Incineradores no município de Santa Cruz da Conceição (SP).

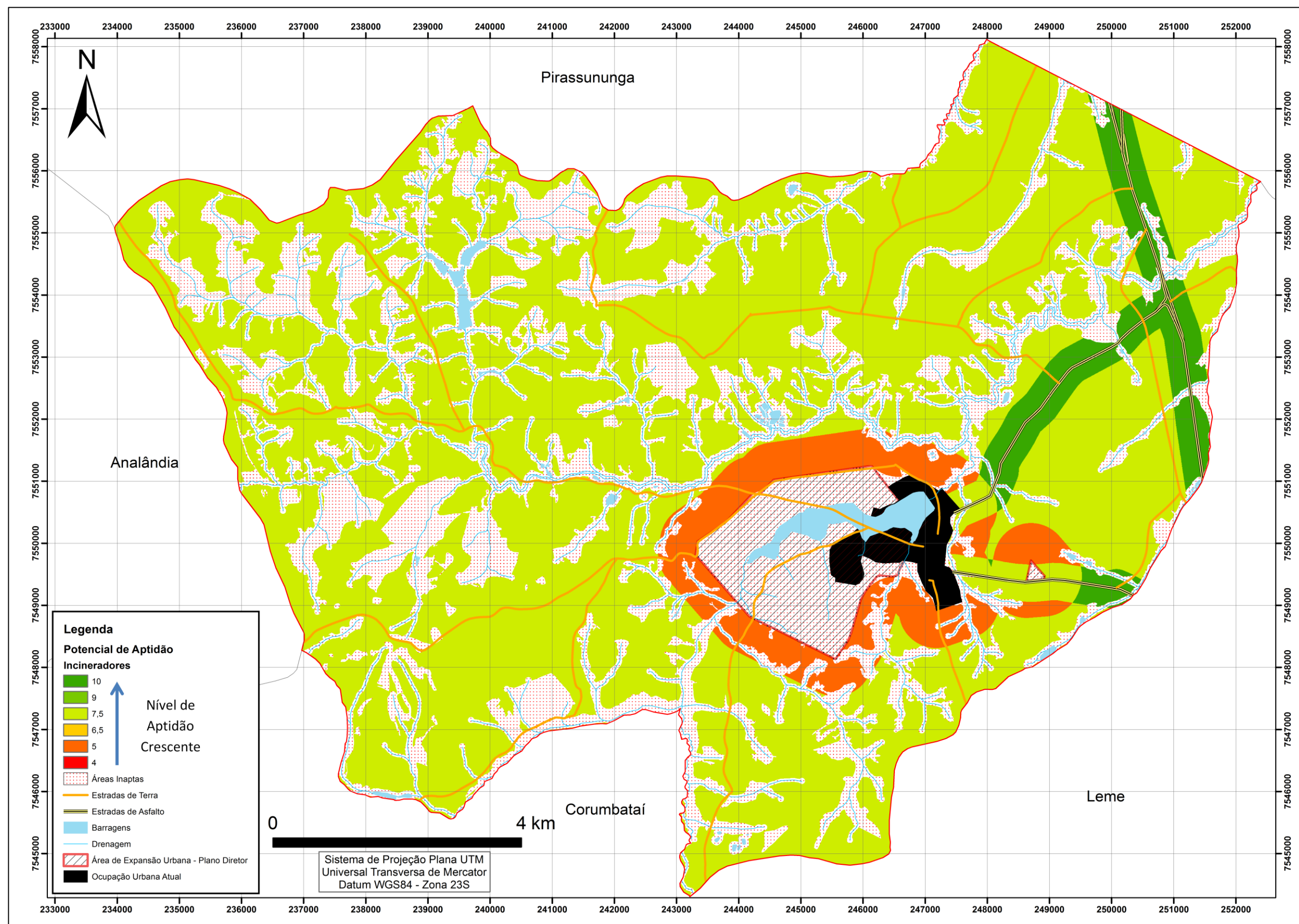


Figura 54. Mapa de potencial de aptidão para implantação de Incineradores e direção dos ventos no município de Santa Cruz da Conceição (SP).

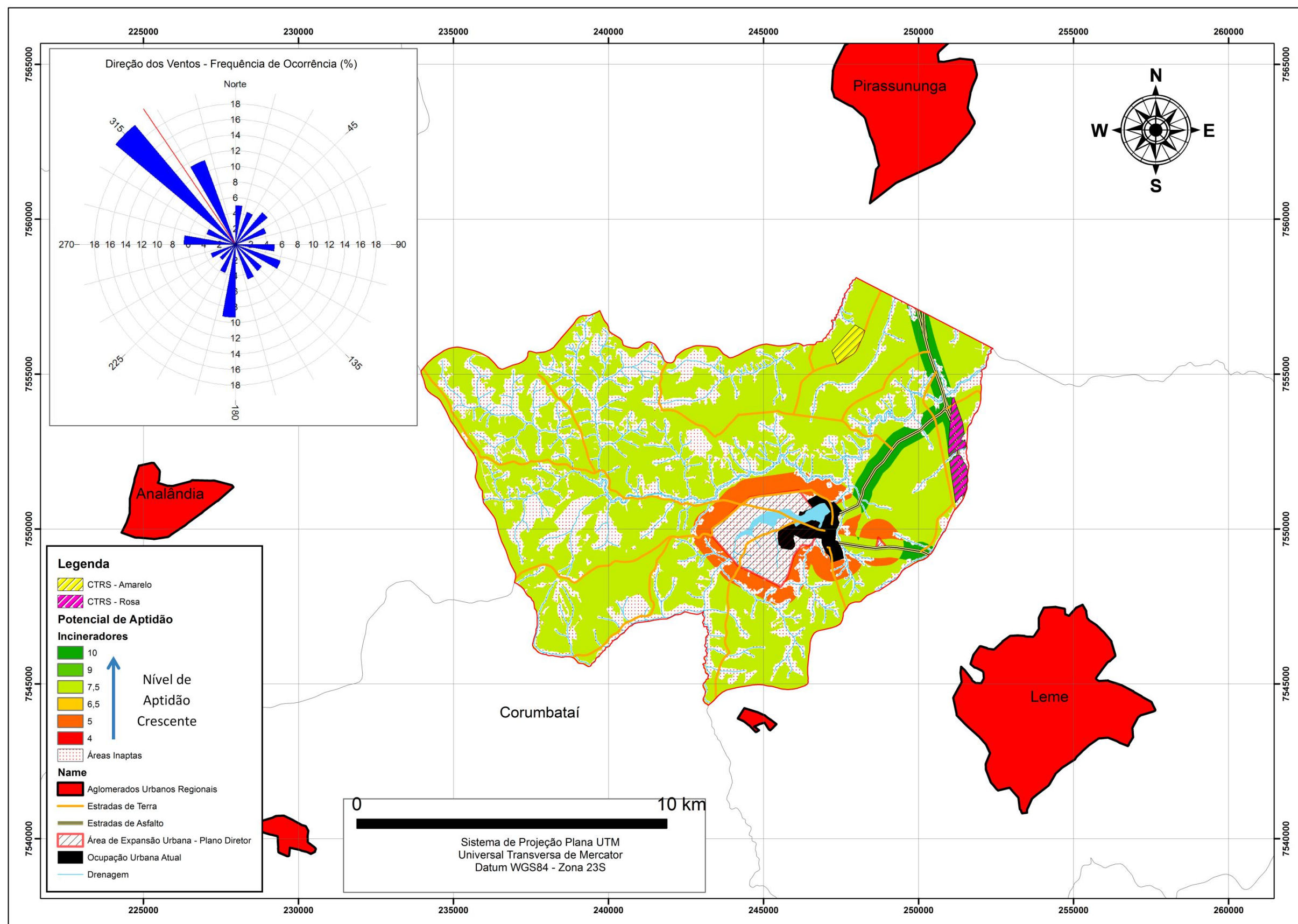
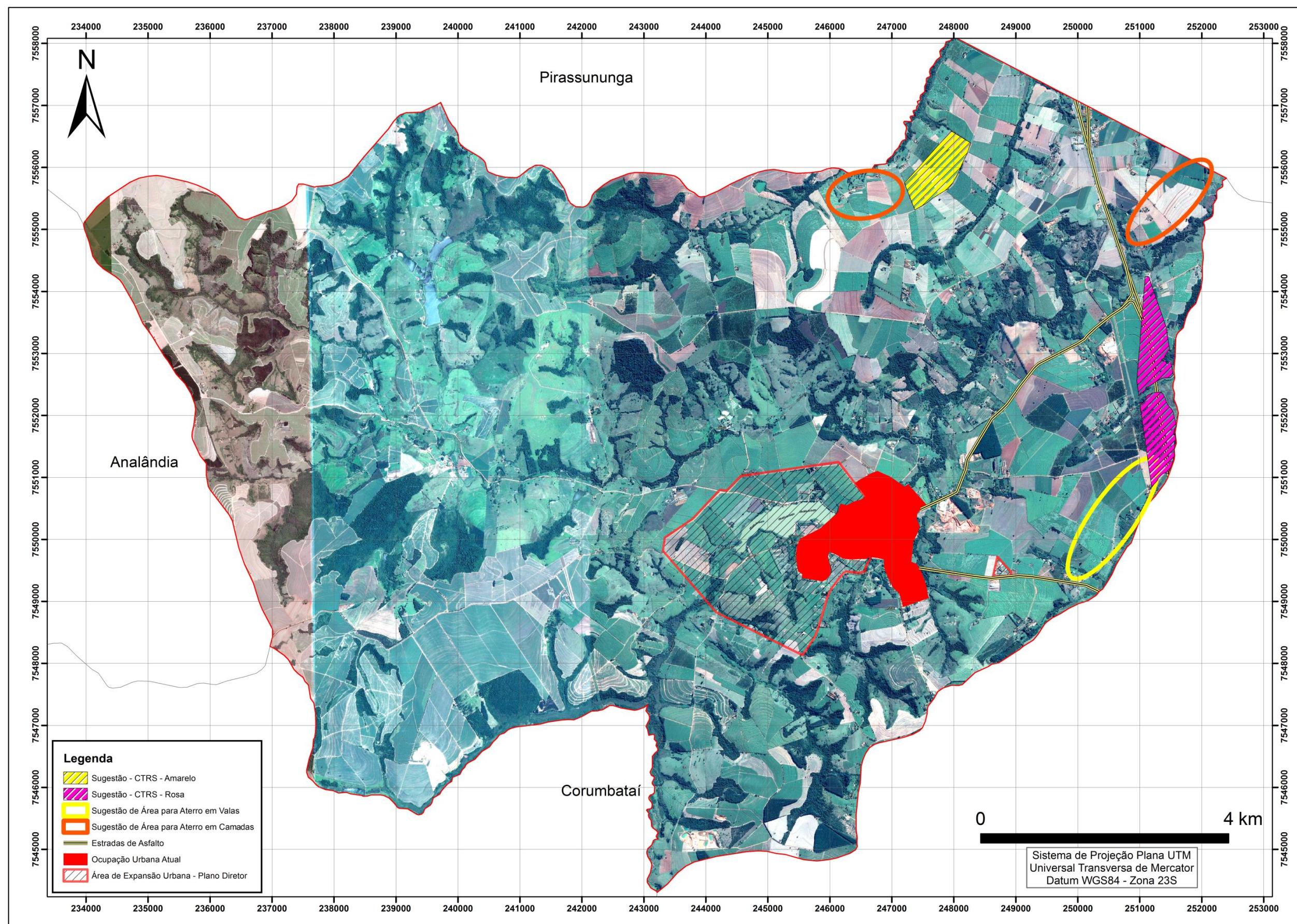


Figura 55. Locais preferenciais para implantação de aterros e unidades da CTRS.



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- a. O reconhecimento de alternativas locais para a implantação de CTRs é uma ação de fundamental importância para a gestão responsável de resíduos sólidos urbanos.
- b. Este estudo demonstra que a combinação de informações advindas da compartimentação fisiográfica e do sensoriamento remoto - balizadas por critérios científicos, técnicos e legais, e à luz das características de uma CTRs - permite, em ambiente computacional, a identificação exitosa e expedita de áreas potencialmente aptas à instalação deste tipo de empreendimento.
- c. O método aqui adotado traduz-se em proteção aos recursos hídricos superficiais, aos recursos hídricos subterrâneos e aos recursos biológicos, representados pelos fragmentos de vegetação natural. Favorece a respeitabilidade às áreas de preservação permanentes, minimiza os possíveis efeitos de poluição atmosférica para a população dos núcleos habitacionais próximos, minora a desvalorização comercial de áreas urbanas e respeita os interesses municipais expressos no plano diretor. Desse modo, o estudo subsidia a gestão ambiental, pois diminui a intensidade de conflitos e favorece o ordenamento territorial sustentável.
- d. O know-how desenvolvido neste trabalho pode ser aplicado a qualquer território, em projetos envolvendo consórcios municipais ou um único município, em complemento às iniciativas que visam resolver a dramática questão do acentuado acúmulo e dispersão de resíduos sólidos urbanos na natureza.
- e. No município de Santa Cruz da Conceição foram identificadas seis áreas adequadas para a implantação de aterros e CTRs: duas delas têm características apropriadas para implantação de aterros em camadas, outra para aterro em valas e três para a implantação da CTRs, incluindo

incineradores. Tais áreas, com potencial para concentrar e tratar grandes volumes de resíduos sólidos, estão distribuídas na parte leste do município que tem, ainda, a vantagem de ser contemplada por excelente malha viária. Esta logística favorável permitiria uma maior eficiência energética e de transporte na operação do complexo, com destacada importância da rodovia Anhanguera e/ou linha férrea no fluxo de resíduos sólidos urbanos provenientes de cidades próximas, em caso de consórcio.

- f. Recomenda-se que, no caso de concretização da presente proposta, estudos de maior detalhamento sejam realizados para as áreas preferenciais indicadas no presente estudo, o que incluiria levantamento topográfico e ensaios geotécnicos, visando a obtenção de maior precisão com referência aos parâmetros de permeabilidade e declividade.
- g. A implantação de uma CTRS e respectivos aterros sanitários no município de Santa Cruz da Conceição, a partir de um consórcio intermunicipal, contribuiria de forma marcante para sanar o déficit ambiental relacionado à gestão dos resíduos sólidos do próprio município e da região. Esta ação favoreceria a melhoria da gestão de resíduos sólidos do Estado de São Paulo.
- h. Este estudo pode ser usado em favor de Santa Cruz da Conceição em diagnósticos ambientais e estudos de Avaliação de Impacto Ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.175. **Incineração de resíduos perigosos - padrões de desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849. **Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. 2015. 120p.
- AMBIENTE LEGAL. **Triagem de resíduos sólidos**. 2014. Disponível em: <http://www.ambientelegal.com.br/coleta-seletiva-padrao-copa-em-sao-paulo/>. Acesso em: 27 ago. 2015.
- ANASTASSAKIS, G.N. Solid Waste Disposal and Recycling. In: KUTZ, M. (Ed.). **Environmentally Conscious Materials and Chemicals Processing**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Curso básico de controle de infecção hospitalar**. Caderno E – Programa do controle de infecção hospitalar. 2000. Ministério da Saúde. Disponível em: www.anvisa.gov.br. Acesso em: 17 out. 2015.
- ARAÚJO, S.M.V.G. **Licenciamento ambiental e legislação**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2002. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/>. Acesso em: 21 nov. 2015.
- ARAÚJO, R.T. **Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Santa Cruz da Conceição – SP: uma proposta conceitual de planejamento para a sustentabilidade local**. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. 95 p.
- ATLAS BRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. 2013. Perfil Santa Cruz da Conceição. Disponível em: http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/santa-cruz-da-conceicao_sp. Acesso em: 08 out. 2015.
- BELGIORNO, V.; FEO, G.; ROCCA, C.D.; NAPOLI, R.M. Energy from gaseification of solid wastes. **Waste Management**, v. 23, p. 1-15. 2003.
- BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.D. Gestão Ambiental. In: OLIVEIRA, M.A.S.; BRITO, S.N.A. (coords.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 499-508.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 de fevereiro de 1986. Seção 1, p. 2548-2549.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Ano CXXVI, n. 191-A, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 outubro de 1988. Seção 1. p.1.
- BRASIL. Lei nº 9985 de 18 de Julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 de Julho de 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002. **Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em: 12 dez. 2015.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010. Seção 1, p. 3.
- BRASIL. Portaria nº 249/GC5 de 6 de Maio de 2011. **Aprova a edição do PCA 3-2, que dispões sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário – PBGRA nos aeródromos brasileiros.** Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa. 2011.
- BRASIL. Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 de Maio de 2012.
- BRASIL. **Portal Brasil.** 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2013/03/pais-vai-realizar-cadastro-ambiental-rural>>. Acesso em: 20 mai. 2015.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. **Base de dados georreferenciados PNLT.** 2015. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/conteudo/2822-base-de-dados-georreferenciados-pnlt-2010.html>>. Acesso em: 13 nov. 2015.
- BROLLO, M.J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na Região metropolitana de Campinas (SP).** Tese (Doutorado), Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2001. 212 p.

- CALIJURI, M.L.; MELO, A.L.O.; LORENTZ, J.F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v. 4, n. 2, 2002. p. 231-250.
- CANTER, L.W. **Environmental Impact Assessment**. 2 ed. New York: Ed. McGraw-Hill, 1996.
- CARDOSO, D.; RIEDEL, P.S.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M.J.; TOMINAGA, L.K. Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo – uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos. **Pesquisas em Geociências**, v.3, n. 36, p. 251-262, set./dez. 2009.
- CARSON, J.E. On the preparation of environmental impact statement in the United States of America. **Atmospheric Environmental**, v.1, n.15, p. 2759-2768. 1992.
- CASTANÓN, N.J.B. Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais. Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 66 p.
- CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2015. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_519.html>. Acesso em: 23 nov. 2014.
- CERON, A.O.; DINIZ, J.A.F. O uso das fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 161-173, 1966.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Incineração**. São Paulo: CETESB, 1997.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de operação de aterro sanitário em valas**. São Paulo: CETESB, 2010.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/residuos-solidos/residuosSolidos2013.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2015.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual para elaboração de estudos para o licenciamento com Avaliação de Impacto Ambiental**. Anexo único. 2014. 250 p. Disponível em: <<http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/cetesb/documentos/Manual-DD-217-14.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2015.
- CIRCEO, L.J. **Plasma Arc Gasification Georgia Tech Research Institute – Electro Optical System Laboratory**. 2010. Disponível em: <www.thesciencecouncil.com>. Acesso em: 15 nov. 2015.

- CORTEZ, L.A.B.; FREIRE, W.J.; ROSILLO-CALLE, F. Biodigestion of vinasse in Brazil. **Internacional Sugar Journal**, v. 100, n. 1196, p. 403-413, 1996.
- COSTA, J.P.F. **Tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos urbanos: avaliação do seu potencial para a recuperação de materiais recicláveis**. Relatório de Estágio de Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, 2000.
- CUNHA, M.A.; CONSONI, A.J. Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4-6, p.217-227.
- CUNHA, V.; FILHO, J.V.C. Gerenciamento da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão e Produção**, v.9, n.2, p.143-161. 2002.
- DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS. **Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste**. Londres: DEFRA, 2013.
- ERSOY, H.; BULUT, F. Spatial and multi-criteria decision analyses-based methodology for landfill site selection in growing urban regions. **Waste Management and Research**, n.27, v.5, p. 489–500. 2009.
- ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10.1**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.
- FERNANDES-JÚNIOR, A. **Ocorrência de instabilidade e forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira, em reator de bancada de mistura completa**. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1989. 118 p.
- FERRETTI, V.; POMARICO, S. Integrated sustainability assessments: a spatial multicriteria evaluation for siting a waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy). **Environment, Development and Sustainability**, n. 14, v. 5, p. 843–867. 2012.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Perfil econômico dos municípios**. 2015. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/perfil-economico-dos-municipios/>>. Acesso em: 08 out. 2015.
- FIORI, A. P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ABGE, 2004. CD-ROM.
- FURLANETTO, T. **Estudo de alternativas locais para a viabilidade ambiental de empreendimentos: o caso do aeroporto de Ribeirão Preto – SP**. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. 92 p.
- FURLAN, W. **Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município**. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- FUSHITA, A.T. **Análise da fragmentação de áreas de vegetação natural e semi-natural do município de Santa Cruz da Conceição, São Paulo, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. 84 p.
- FUSHITA, A.T.; ARAÚJO, R.T.; PIRES, J.S.R. Avaliação temporal da conectividade e simulação de cenários para o município de Santa Cruz da Conceição – São Paulo, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009.
- GIUSTI, L. A review of waste management practices and their impact on human health. **Waste Management**, n. 29, v.8, p. 2227-2239. 2009.
- GODINHO, M. **Gaseificação e combustão de resíduos sólidos da indústria calçadista**. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. 106 p.
- GOMES, P.C.B. (Org.). **Plano da bacia hidrográfica do Rio Mogi Guaçu**. São Carlos: Suprema, 2003. 300 p.
- GOOGLE EARTH. 2015. Acesso em: 02 out. 2015.
- GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde coletiva**, v.17, n.6, p.1503-1510. 2012.
- GOUVEIA, N.; PRADO, R.R. Riscos à saúde em áreas próximas a aterros de resíduos sólidos urbanos. **Revista de Saúde Pública**, n. 44, v.5, p. 859-866. 2010.
- HAMER, G. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. **Biotechnology Advances**, v. 22, n. 1-2, p. 71-79. 2003.
- IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Mapa pedológico do município de Santa Cruz da Conceição**. Campinas: IAC, 2005. Escala: 1:150.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Corumbataí**. São Paulo: IBGE, 1971a. SF-23-Y-A-II-1. Escala 1:50.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha Leme**. São Paulo: IBGE, 1971b. SF-23-Y-A-I-2. Escala 1:50.000.

- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha municipal 2010**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2010/>. Acesso em: 08 out. 2015.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema de referência geocêntrico para a América do Sul. **Relatório Final Grupos de trabalho I e II**. CDD IBGE, Rio de Janeiro, 1997. 122 p. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 08 dez. 2014.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. 2014. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/36N86>>. Acesso em: 24 mar. 2015.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Folha Leme**. São Paulo: IG, 1980. SF-23-Y-A-II-1. Escala 1:50.000.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Folha Corumbataí**. São Paulo: IG, 1984. SF-23-Y-A-I-2. Escala 1:50.000.
- IG - INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Metodologia para Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos. In: BROLLO, M.J.; SILVA, P.C.F. (coord.) **Relatório Técnico**. São Paulo: IG / SMA, 1999.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. 2008. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em: 29 nov. 2015.
- IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories reference Manual**. v.3. 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6e.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2015.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE. 1995. 278p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE. 2000. 370 p.
- IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: SMA, 2012. 104 p.
- IWAI, C.K.; ASSUMPÇÃO, M.H.P.L. (Coord.). **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbano 2014**. São Paulo: CETESB, 2015. 126p. Série Relatórios. Disponível em: <<http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2013/11/residuosSolidos2014.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2015.

- JARAMILLO, J. **Residuos Sólidos Municipales: guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales**. Washington: OMS, 1991. 169 p.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. 720 p.
- JUNIPER. **Pyrolysis & Gasification of Waste**. Worldwide Technology & Business Review. Juniper Consultancy Services Ltd. 2000.
- KARMANN, I. Ciclo da água – Água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 568p.
- KOMATSU, C.E. (Coord.). **Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo 2013**. São Paulo: CETESB, 2014. 434 p. Série Relatórios. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/relatorio-aguas-superficiais-2013-parte1.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2015.
- KOMATSU, C.E. (Coord.). **Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo 2014**. São Paulo: CETESB, 2015. 520 p. Série Relatórios. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/agua-doce-parte1-corrigido.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2015.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1948.
- LARSEN, A.W.; VRGOC, M.; LIEBERKNECHT, P.; CHRISTENSEN, T.H. Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. **Waste Management & Research**, v. 27, 2009.
- LEITE, A. A realidade dos municípios brasileiros frente à nova Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: FRICKE, K.; PEREIRA, C.; LEITE, A.; BAGNATI, M. **Gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos – transferência entre a Alemanha e o Brasil**. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2015. 722 p.
- LETTINGA, G.; RINZEMA, A. Anaerobic treatment of sulfate containing wastewater. In: WISE, D.L. (Ed). **Biotreatment Systems**. v.1. Boca Raton: CRC Press, 1985.
- LEVINE, S.C. **Projetos e Critérios para Localização de Aterros Sanitários**. In: TRANSPORTATION, WATER AND URBAN DEVELOPMENT DEPARTMENT, WORLD BANK Urban No. UE-12, 3,1996.
- LINO, I.C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2007. 99 p.
- LISS, E.W. **Natural Gas Power System for the Distributed Generation Market**. In: POver-Gen International '99 Conference, New Orleans, Louisiana. 1999.

- LOBATO, K.C.D.; LIMA, J.P. Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15, n.4, p. 347-356. 2010.
- LOCH, C. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. Série didática. Florianópolis: Editora da UFSC, 1984.
- LOMBARD, X.; KHAIRALLAH, P. **Return of Experience for Microturbines Running on Landfill Gas // waste water gas in Europe**. VERDESIS, Belgium. BIOTURBINE Project Workshop. 2004.
- LUCENA, L.F.L. Análise multicriterial na avaliação de impactos ambientais. In.: Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 3, 1999, Recife. **Anais...** Recife: SBEE, 1999. p.1-13.
- MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1986. 257p.
- MARQUES, G.N. **Seleção de áreas para aterros sanitários baseada em mapeamento geotécnico e Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Universidade de São Paulo - Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2002. 163p.
- MASSUKADO, L.M. **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Carlos. 2004. 272 p.
- MCCOLD, L.N.; SAULSBURY, J. Defining the no-action alternative for National Environmental Policy Act analysis of continuing actions. **Environmental Impact Assessment Review**, v.18, p.15-37. 1998.
- MENEZES, R.A.A.; GERLACH, J.L.; MENEZES, M.A. ESTÁGIO ATUAL DA INCINERAÇÃO NO BRASIL. In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, 7, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABLP, 2000.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CNUC – Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. 2016. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/mma/openlayers.htm?n1cgt05guirconr25cj4ukpk6> . Acesso em: 05 jan. 2016.
- MOREIRA, I.V.D. **Avaliação de Impacto Ambiental – AIA**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1985.
- MOREIRA, M.A.A. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para seleção de áreas para a disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário no município de Descalvado (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, 2002. 144p.

- MOREIRA, M.A.A.; LORANDI, R.; MORAES, E.B. Caracterização de áreas preferenciais para a instalação de aterros sanitários no município de Descalvado (SP), na escala 1:50.000. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.60, v.2, agosto 2008. p. 177-194.
- O'LEARY, P.R.; CANTER, L. Land disposal. In: ROBINSON, W.D. **The solid waste handbook: a practical guide**. New York: John Wiley & Sons, 1986. cap. 11. p. 259-338.
- OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 112 p. (Boletim Científico, 45).
- OLIVEIRA, T.A. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos: subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. 2004a.
- OLIVEIRA, I.S.D. **A contribuição do Zoneamento Ecológico Econômico na avaliação de impacto ambiental: bases e propostas metodológicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004b. 125 p.
- OLIVEIRA, T.A. RIEDEL, P.S.; VEDOVELLO, R.; SOUZA, C.R.G; BROLLO, M.J. Utilização de técnicas de fotointerpretação na compartimentação fisiográfica do município de Cananéia, SP – apoio ao planejamento territorial e urbano. **Geociências**, UNESP, São Paulo, v. 26, n, 1, p. 55-65. 2007.
- OLIVEIRA, I.S.D.; MONTAÑO, M.; SOUZA, M.P. **Avaliação ambiental estratégica**. São Carlos: Suprema, 2009.
- OLIVEIRA, F.; ALVES, M.; OLIVEIRA, C. Favorabilidade de áreas para implantação de aterros controlados no município de Campos dos Goytacazes/RJ utilizando sistema de informação geográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.64, n.1, p.33-44. 2012.
- ORGANIZATION OF AMERICAN STATES - OAS. Guarani Aquifer System: Environmental Protection and Sustainable Development of the Guarani Aquifer System. **Water Project Series**, n. 7, 2005. Disponível em: <http://www.oas.org/dsd/Events/english/Documents/OSDE_7Guarani.pdf>. Acesso em: 26 out. 2016.
- PATH - PROGRAM FOR APPROPRIATE TECHNOLOGY IN HEALTH. **Treatment Alternatives for Medical Waste Disposal**. 2005. Disponível em: <http://www.path.org/files/TS_trt_alt_med_wst_disp.pdf>. Acesso em: 18 set. 2015.

- PENSAMENTO VERDE. Energia do Lixo: **Conheça a primeira usina de incineração do lixo no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/wp-content/uploads/2013/07/lixo.jpg>>. Acesso em: 28 set. 2015.
- PENSAMENTO VERDE. **Triagem do lixo**. 2015. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/energia-lixo-conheca-usina-incineracao-lixo-brasil/>>. Acesso em: 14 set. 2015.
- PEREIRA, A.S.; OLIVEIRA, L.B.; REIS, M.M. Emissões de CO₂ evitadas e outros benefícios econômicos e ambientais trazidos pela conservação de energia decorrente da reciclagem de resíduos sólidos no Brasil. In: Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 3, Recife. **Anais...** Recife, 1999.
- PEREZ, Z.M.L. (coord.). **Panorama dos Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo**. Versão preliminar. São Paulo: CETESB, 2013.
- PFEIFFER, S.C. **Subsídios para a ponderação de fatores ambientais na localização de aterros de resíduos sólidos, utilizando o Sistema de Informações Geográficas**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2001.
- PIRES, J.S.R. **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio – SP**. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.
- PODESSER, E.; ENZINGER P.; DERMOUZ, H. **Electricity Production in Rural Villages with A Biomass Stirling Engine**. Áustria: Elisabethstrasse, 2000.
- POMPERMAYER R.S.; PAULA-JÚNIOR. D.R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: Encontro de energia no meio rural, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2000.
- PROSKE, H.; VICKO, J.; ROSENBAUM, M.S.; DORN, M.; CULSHAW, M.; MARKER, B. Special purpose mapping for waste disposal sites. Report of IAEG Commission I: Engineering geological maps, **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 64, 1–54. 2005.
- PUNA, J.F.B.; BAPTISTA, B.S. A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos - perspectiva ambiental e econômico-energética. **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 645-654, 2008.
- QUINA, M. J; SANTOS, R.C; BORDADO, J.C; QUINTA-FERREIRA, R.M. Characterization of air pollution control residues produced in a municipal solid waste incinerator in Portugal. **Journal of Hazardous Materials**, n.152, p. 853–869. 2008.

- RECICLAR SA SANTO ANTÔNIO. **Triagem de resíduos da construção civil**. 2015. Disponível em: <<http://www.guialocalrs.com.br/promo/b5d468df6e43c4508887e75528dcc31a.jpg>>. Acesso em: 07 set. 2015.
- REIS, A.S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal do Pernambuco, Núcleo de Tecnologia, 2012. 79 p.
- REIS, F.A.G.V.; CERRI, L.E.S. (coords.). **Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo**. Relatório final de pesquisa. 2014.
- RIZZO, A.C.L.; LEITE, S.G.F. **Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Série Tecnologia Ambiental, 32. 2004. 104 p.
- RODRÍGUEZ, R.J.C.; ATRACH, K.; RUMBOS, E.; DELEPIANI, A.G. Resultados experimentales sobre la producción de biogas a traves de la bora y el estiercol de ganado. **Agronomia Tropical**, Caracas. v.47, n.4, p.441-455, 1997.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. USP/IPT/FAPESP. Escala 1:500.000. 1997.
- RUSSO, M.A.T. **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho, Portugal, 2005. 320p.
- SALOMON, K.R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007. 247 p.
- SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes formas de biogás no Brasil. **Biomassa e Energia**, v.2, n.1, p. 57-67. 2005.
- SAMIZAVA, T.M.; KAIDA, R.H.; IMAI, N.N.; NUNES, J.O.R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p. 43-55. 2008.
- SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de Impactos Ambientais: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 1 ed.
- SANTA CRUZ DA CONCEIÇÃO. Lei complementar nº 14, de 27 de novembro de 2007. **Dispõe sobre o Plano Diretor estratégico do município de Santa Cruz da Conceição – SP e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.santacruzdaconceicao.sp.gov.br/novo_site/plano_diretor/planodiretor/2013/20130702161619.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.

- SCHALCH, V.; LEITE, W.C.A.; FERNANDES-JÚNIOR, J.L.; CASTRO, M.C.A.A de. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: UFSCAR, 2002. Disponível em: <http://www.falcoit.com.br/blog/images/easyblog_images/500/GESTAO-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-2002.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.
- SCHNEIDER, D.M.; RIBEIRO, W.A.; SALOMONI, D. **Orientações básicas para a gestão consorciada de resíduos sólidos**. PEREIRA DE OLIVEIRA, N.; HELOU, L.D.R.; ANTERO, S.A. (Orgs.). Fundação Instituto para o Fortalecimento das Capacidades Institucionais – IFCI / Agência Espanhola de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento – AECID / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG. Brasília: Editora IABS, 2013. 220 p.
- SERRA, V.; GROSSI, M.; PIMENTEL, V. **Lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. Departamento de Química e Bioquímica. Botucatu: UNESP, 1998.
- SMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Avaliação de Impacto Ambiental**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1989. p.11- 23.
- SMA – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Procedimentos para análise de EIA e RIMA**. Resolução SMA nº 42, de 29 de dezembro de 1994. 1994. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/1994_Res_SMA_42.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.
- SIGRH – SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**. 2013. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 set. 2015.
- SOUZA, M.P. A base de referência e a avaliação de impacto ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Geotecnologias no Pantanal, 1. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: EMBRAPA/ INPE, 2006, p.749-756.
- STEWART, J. **Cálculo**: Volume 1. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- THEODOROVICZ, A.; THEODOROVICZ, A.M.G; CANTARINO, S.C. (Orgs.). **Atlas Geoambiental das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogi Guaçu e Pardo – SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental**. São Paulo: CPRM, 2002. 77 p.
- TSUHAKO, E.M. **Seleção preliminar de locais potenciais à implantação de aterro sanitário na sub-bacia de Itapararanga (Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê)**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Universidade de São Paulo, Departamento de Hidráulica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2004. 160 p.

- USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Laboratório de Ciências Agrárias. **Dados da Estação Meteorológica da USP - Campus Pirassununga**. 2016. Disponível em: <<http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>>. Acesso em: 11/06/2016.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. **Air Emission from Municipal Solids Waste Landfill – Background Information for Proposed Standards and Guidelines**. Emission Standards Division. EPA-450/3-90-011a. 1991.
- VALVE, H. Frame conflicts and the formulation of alternatives: environmental assessment of an infrastructure plan. **Environmental Impact Assessment Review**, v.19, p.125-142. 1999.
- VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação UBCs**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro. 2000. 154 p.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. Zoneamento Geotécnico por Sensoriamento Remoto para estudos de Planejamento do Meio Físico: aplicação em expansão urbana. In: Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. p. 155-162.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas: Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, ABGE, 1998.
- WILLIS, H.L.; SCOTT, W.G. **Distributed Power Generation**. Planning and Evaluation. New York: Marcel Dekker, 2000. 597 p.
- WILSON, D.C. (coord.). **Global Waste Management Outlook**. Viena: International Solid Waste Association General Secretariat. 2015.
- YOUNG, G.C. **Municipal Solid Waste to Energy Conversion Process: economic, technical and renewable comparisons**. USA: John Wiley & Sons, 2010.
- ZAINE, J.E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. 2011.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J., SINELLI, O.; GANDOLFI, N. Methodology of specific engineering geological mapping for selection of sites for waste disposal. In: International Congress of the International Association of Engineering Geologists, 7, Lisboa. **Anais...** Lisboa: CRC Press, 1994, p.2481-2489.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E. Mapeamento geotécnico: parte 1 - atributos e procedimentos básicos para a elaboração de mapas e cartas. **Geociências (São Paulo)**, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 491-524, 1997.